

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PRIX VERSUS QUANTITÉS DANS UNE FÉDÉRATION : LES DÉFIS  
POSÉS PAR L'UTILISATION SIMULTANÉE DES TAXES SUR LE  
CARBONE ET DES SYSTÈMES DE PLAFONNEMENT ET D'ÉCHANGE  
AU CANADA

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN ÉCONOMIQUE

PAR  
MARIE-JOSÉE NADEAU

SEPTEMBRE 2018

## REMERCIEMENTS

Dans un premier temps, je souhaite remercier mon directeur Charles Séguin qui m'a été d'une aide précieuse. Ses judicieux conseils et ses encouragements m'ont gardée sur la bonne voie tout au long de ce travail. Il a su trouver les bons mots pour que je reste motivée et concentrée. Je tiens aussi à remercier mon co-directeur Jean-Denis Garon pour son aide et ses paroles encourageantes.

Je remercie chaleureusement Smart Prosperity Institute et Éric Girard pour leur soutien financier. Leur généreuse contribution m'a permis de me concentrer davantage sur ce projet. Merci de nous aider, les étudiants en économie, et de croire en nous.

Un remerciement tout spécial à mes parents, Suzanne Lamarche et Pierre Nadeau, pour leur soutien moral et financier, sans qui ces longues études n'auraient pu être possibles. Je tiens également à remercier Suzanne Lamarche pour la correction de mon texte et ses précieux conseils.

Je veux remercier mes collègues et amis, Jonathan Ramacieri, François Turcotte et Alexis Chénard avec qui j'ai pu échangé durant mes périodes de questionnements, en plus de faire de ces années d'études une expérience mémorable, enrichissante et divertissante.

Finalement, j'aimerais sincèrement remercier mon conjoint Anthony Po de m'avoir accompagnée et soutenue lors des moments plus difficiles. Je désire aussi remercier ma famille et mes amis qui ont su m'encourager et m'épauler tout au long de mes études.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES . . . . .	v
LISTE DES TABLEAUX . . . . .	vi
RÉSUMÉ . . . . .	vii
INTRODUCTION . . . . .	1
CHAPITRE I	
REVUE DE LA LITTÉRATURE . . . . .	5
1.1 Incertitude avec juridiction unique . . . . .	5
1.2 Contexte fédéral sans incertitude . . . . .	7
CHAPITRE II	
MODÈLE . . . . .	12
2.1 Équilibre sans réglementation . . . . .	14
2.2 Contrôle décentralisé . . . . .	18
2.3 Contrôle centralisé . . . . .	25
CHAPITRE III	
RÉSULTATS DE L'ANALYSE THÉORIQUE . . . . .	30
3.1 Régions identiques sans migration . . . . .	30
3.2 Migration . . . . .	37
3.3 Régions asymétriques . . . . .	39
CHAPITRE IV	
ANALYSE NUMÉRIQUE . . . . .	47
4.1 Méthodologie . . . . .	47
4.2 Scénarios et résultats . . . . .	49
4.3 Tests de sensibilité des paramètres . . . . .	59
4.3.1 Facteur de réduction des émissions ( $B$ ) . . . . .	59
4.3.2 Élasticité du travail ( $\alpha$ ) . . . . .	60

	iv
4.3.3 Élasticité du travail ( $\beta$ ) . . . . .	62
CONCLUSION . . . . .	66
ANNEXE A	
PREUVES ASSOCIÉES AUX PROPOSITIONS . . . . .	67
A.1 Proposition 1 . . . . .	67
A.2 Proposition 2 . . . . .	68
A.3 Proposition 3 . . . . .	68
ANNEXE B	
FIGURE REPRÉSENTANT LES RÉSULTATS DU SYSTÈME DÉCEN- TRALISÉ EN PRÉSENCE D'UN CHOC FAIBLE . . . . .	70
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	71

## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
4.1 Résultats du système décentralisé lors d'un choc élevé . . . . .	54
B.1 Résultats du système décentralisé lors d'un choc faible . . . . .	70

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
3.1 Résultats du système décentralisé en présence d'un choc exogène .	30
3.2 Matrice de bien-être des régions . . . . .	36
3.3 Comparaison des variables sans migration et avec migration en présence d'un choc exogène . . . . .	40
3.4 Matrice de bien-être des régions avec migration et régions asymétriques . . . . .	45
4.1 Valeurs de départ des paramètres du modèle . . . . .	48
4.2 Résultats : système décentralisé avec régions identiques . . . . .	50
4.3 Résultats : systèmes centralisés avec régions identiques . . . . .	51
4.4 Résultats : systèmes décentralisé et centralisés avec migration . .	52
4.5 Émissions de GES au Canada . . . . .	56
4.6 Résultats : systèmes décentralisés et centralisés avec migration et régions asymétriques . . . . .	57
4.7 Matrice numérique de bien-être des régions avec migration et régions asymétriques . . . . .	58
4.8 Test de sensibilité du facteur de réduction des émissions ( $B$ ) . . .	60
4.9 Test de sensibilité de l'élasticité du travail du secteur polluant ( $\alpha$ )	61
4.10 Test de sensibilité de l'élasticité du travail du secteur polluant ( $\beta$ )	63

## RÉSUMÉ

Le Canada possède un éventail de politiques environnementales visant à réduire ses émissions de gaz à effets de serre. Alors que certaines provinces ont priorisé une taxe sur le carbone, d'autres ont préféré arrêter leur choix sur un système de plafonnement et d'échange. Le gouvernement fédéral a, quant à lui, choisi d'imposer une taxe sur le carbone aux provinces sans réglementation. L'apport de ce présent mémoire consiste à étudier les politiques environnementales dans un contexte fédéral en présence d'incertitude, et ce, afin de mieux comprendre les interactions entre les différents systèmes fédéraux et les deux types d'instruments, en plus d'interpréter leurs conséquences sur l'économie canadienne. Pour ce faire, nous avons élaboré un modèle d'équilibre général afin d'analyser l'efficacité des différents systèmes en présence d'un choc sur la productivité.

Les résultats de l'analyse théorique révèlent que le choix de l'instrument a un effet sur l'équilibre puisque, dans le cas du système de plafonnement et d'échange, le choc économique n'a aucun impact sur la quantité produite du bien sale malgré qu'une partie de son effet soit absorbée par le prix des permis. Or, en présence d'une taxe, l'impact du choc fait varier la production d'émissions tout en gardant le niveau de la taxe constante. L'analyse des différents systèmes démontre que, pour une fédération, réglementer la pollution de façon décentralisée est une situation intermédiaire à celles où elle impose un instrument unique pour la contrôler. De plus, que ce soit une décision régionale ou fédérale, utiliser la taxe comme instrument apporte plus de fluctuations des émissions de GES que l'utilisation d'un système de plafonnement et d'échange. Enfin, l'analyse numérique suggère que la taxe offre un bien-être supérieur si l'économie fait face à un choc élevé alors que les permis font mieux lorsqu'un choc faible survient. Finalement, lorsque les régions sont asymétriques et que la migration est possible entre les juridictions, nous trouvons que l'équilibre de Nash consiste en un système décentralisé où la région 1 utilise un système de plafonnement et d'échange alors que la région 2 privilégie une taxe sur le carbone. Ce résultat est intéressant puisqu'il reflète fidèlement la réalité des politiques environnementales en place dans les provinces canadiennes.

Mots-clés : Émissions de gaz à effets de serre, tarification du carbone, équilibre général.

## INTRODUCTION

Les changements climatiques sont devenus une préoccupation grandissante pour les sociétés d'aujourd'hui et de demain. Depuis près de trente ans, la population se conscientise peu à peu à cette nouvelle réalité et les nations agissent pour réduire leur empreinte écologique. Le premier gouvernement à avoir introduit une tarification du carbone est celui de la Finlande. En 1990, il crée une taxe sur le carbone qui touche les entreprises dans les secteurs du chauffage et des transports. Puis, d'autres pays lui emboitent le pas en implantant, eux aussi, différentes tarifications du carbone. En 1991, la Suède choisit de viser les secteurs des combustibles fossiles avec une taxe sur le dioxyde de carbone, alors que la Norvège s'attaque aux industries du papier et du transport en plus de taxer les firmes exploitant le pétrole et le gaz naturel.

Pays par pays, la sensibilisation aux changements climatiques gagne une plus grande partie de l'Europe et se répand en Asie et aux autres pays de l'OCDE. En effet, l'Union Européenne introduit, en 2005, un système communautaire d'échange de quotas d'émissions (SCEQE) à tout son territoire (Kosoy *et al.*, 2015). C'est dans le cadre du protocole de Kyoto, premier accord international pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), que cette mesure a été mise en place. De plus, en 2007, avec l'aide de quatre autres états américains, la Californie crée un organisme axé sur l'environnement, nommé Western Climate Initiative Inc., dans le but d'élaborer, de gérer et d'atteindre un objectif



de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Au cours de l'année suivante, la Colombie-Britannique, l'Ontario, le Québec et le Manitoba se joignent à l'organisme pour participer à l'élaboration du programme de réduction des GES (Western Climate Change Inc, 2013). C'est le commencement des politiques de tarification du carbone au Canada.

Plus récemment, l'accord de Paris pour la réduction des gaz à effet de serre qui a été signé par les 195 pays présents à la conférence du même nom en 2015 est un point tournant dans la lutte contre les changements climatiques. En effet, alors qu'il a fallu plus de sept ans pour que le protocole de Kyoto entre en vigueur, cela n'a pris qu'une dizaine de mois pour que l'accord de Paris soit ratifié par assez de pays émetteurs pour qu'il prenne effet. De plus, pendant l'ère Kyoto, il n'y a eu aucune mesure pancanadienne qui ait été prise par le gouvernement fédéral. Il y a bien quelques politiques qui ont été mises en place par certaines provinces mais rien d'assez considérable pour que le Canada atteigne l'objectif qu'il s'était fixé. Maintenant, c'est tout le contraire. Pendant que plusieurs provinces mettent de l'avant des moyens pour tarifer le carbone, le gouvernement fédéral crée une mesure additionnelle touchant l'ensemble de son territoire.

La Colombie-Britannique, depuis 2008, applique une taxe sur le carbone. Il y a également l'Alberta qui a implanté, dès 2007, une taxe devenant effective une fois le niveau d'émission de référence franchi. Elle a toutefois modifié ce système de façon à le rendre plus contraignant en 2017. Le Québec fait aussi sa part en introduisant un système de plafonnement et d'échange en 2013 et en s'unissant à celui de la Californie l'année suivante. La Nouvelle-Écosse prévoit leur emboîter le pas dès 2018. L'Ontario avait, quant à elle, développé un système similaire en 2017

et prévoyait rejoindre le Québec et la Californie en 2018. Cependant, la province a révisé sa position en se retirant de cet accord durant l'été 2018. Elle demeure sans politique environnementale depuis. Pour ce qui est du gouvernement canadien, il a mis en place, en octobre 2016, une politique qui stipule qu'une taxe sur le carbone sera prélevée dans les provinces où il n'y a aucune tarification existante. De plus, cette mesure impose un niveau minimal du prix du carbone dans les provinces utilisant déjà la taxe comme instrument. Enfin, les provinces qui utilisent un système de permis sont exclues du prix minimum, mais elles devront néanmoins satisfaire leur objectif de réduction respectif. Si elles n'y arrivent pas, des pénalités seront exigées. Dans tous les cas, les provinces peuvent garder les revenus générés par les politiques de tarification des émissions. Toutes ces mesures prises par les différents paliers gouvernementaux aideront le Canada à atteindre l'objectif qu'il s'est fixé en décembre 2015, soit une réduction de 30 % de ses émissions en 2030 par rapport au niveau de 2005.

Ceci étant dit, il est important de se demander si un tel éventail de systèmes dans une même fédération est efficace du point de vue des réductions d'émissions de carbone et quels sont les impacts distributifs entre les juridictions. La présence d'un contrôle de la pollution décentralisé aide-t-elle le Canada à atteindre son objectif ou bien serait-il mieux de réglementer les émissions de façon centralisée ? De plus, dans une économie grandement influencée par les chocs économiques mondiaux comme la nôtre, il est primordial de se demander si ceux-ci ont un impact sur le système en place et, le cas advenant, comment affectent-ils l'efficacité de celui-ci et le bien-être de la population des différentes provinces ? Enfin, lequel des instruments, entre la taxe ou le système de plafonnement et d'échange, apporte de

meilleurs résultats, selon la nature du choc économique. Toutes ces interrogations sont aussi importantes les unes que les autres, car il est essentiel que le système mis en place par le gouvernement canadien soit le plus efficace possible afin que le Canada atteigne l'objectif de réduction des émissions de GES qu'il s'est fixé lors de la conférence de Paris et ce, au moindre coût.

La suite de ce texte sera organisée comme suit. Le chapitre 1 sera consacré à la littérature reliée à ce sujet et à la contribution qui fait le présent mémoire. Le chapitre 2 introduit le modèle qui a été développé dans le cadre de ce travail. Le chapitre 3 présente l'analyse des résultats en plus d'intégrer la migration alors que le chapitre 4 développe une analyse numérique de ce modèle de façon à illustrer la situation canadienne. Enfin, ce travail de recherche se termine avec une revue des résultats et des réponses aux questions posées précédemment.

## CHAPITRE I

### REVUE DE LA LITTÉRATURE

Deux branches distinctes sont présentes dans la littérature concernant les politiques de tarification du carbone. D'un côté, comme c'est le cas pour Weitzman (1974), certains auteurs analysent les instruments dans une situation d'incertitude avec juridiction unique. D'un autre côté, plusieurs d'entre eux s'intéressent plutôt à l'analyse d'un seul instrument dans un contexte fédéral sans incertitude. Par exemple, Boadway, Song et Tremblay (2013) ont intégré la question environnementale dans un modèle fédéraliste où les politiques peuvent être centralisées ou décentralisées.

#### 1.1 Incertitude avec juridiction unique

Weitzman (1974) élabore un modèle simple où un bien générant une externalité négative est produit à un certain coût et rapporte un bénéfice. Il en résulte qu'en présence d'information parfaite et en situation de certitude, il n'y a aucun avantage entre un instrument misant sur les prix ou sur les quantités. En effet, c'est plutôt lorsqu'il y a asymétrie d'information ou encore incertitude que l'utilisation de l'un peut être préférable à l'autre. Weitzman introduit alors des variables stochastiques

à son modèle. Avec cet ajout, le modèle démontre qu'aucun des instruments ne mène à un résultat optimal. Par contre, un instrument peut être préférable à l'autre selon qu'il présente une meilleure approximation de la courbe de coût marginal externe.

Pour sa part, Kelly (2005) aborde différentes situations où il est avantageux d'utiliser des politiques de tarification des émissions de carbone dans un contexte d'équilibre général. L'auteur souligne qu'il n'y a pas seulement les pentes des coûts et bénéfices marginaux qui influencent le choix de l'instrument, mais aussi que l'aversion au risque des consommateurs y joue un rôle important. Les conclusions du modèle suggèrent qu'avec un coefficient d'aversion au risque raisonnable, l'utilisation d'un instrument-quantité est préférée à celle d'un instrument-prix, peu importe la fonction des bénéfices présente. Toutefois, Kelly spécifie que l'instrument-prix est un choix intéressant lorsqu'il y a une incertitude dans les chocs pouvant affecter la productivité de la firme.

Il y a aussi Hepburn (2006) qui compare le choix de l'instrument dans un contexte d'incertitude. L'auteur compare les avantages à utiliser un instrument qui régule la pollution, soit par les prix, soit par les quantités ou encore un instrument hybride, bien que ce dernier soit plus complexe. Il propose même l'utilisation de plusieurs instruments à la fois. L'auteur explore plusieurs éventualités en indiquant au lecteur le choix approprié de l'instrument dans chacun des cas. Par exemple, si l'économie est caractérisée par des firmes averses au risque, Hepburn suggère l'instrument qui régule la pollution par les prix, comme une taxe, puisque celle-ci est connue à l'avance par les firmes alors que le prix des droits de pollution varie selon la demande pour ceux-ci.

Pizer (2002) compare, quant à lui, le contrôle de la pollution par les prix à celui par les quantités. Les coûts associés aux changements climatiques sont incertains et cela peut mener, selon lui, à une grande différence d'efficacité entre ces deux politiques. Dans le but d'analyser des politiques alternatives sous incertitude, l'auteur fait des simulations d'équilibre général en utilisant une version modifiée du modèle DICE (Dynamic Integrated Climate-Economy) élaboré entre autres par William Nordhaus. Selon les résultats de Pizer (2002), le gain en bien-être espéré d'une politique de contrôle par les prix est cinq fois plus élevé que celui obtenu avec une politique utilisant un contrôle par les quantités. Toutefois, des dommages plus abruptes et catastrophiques inversent la préférence vers l'instrument-quantité. Enfin, une politique hybride, c'est-à-dire une politique ayant une distribution initiale de permis échangeables additionnée d'une possibilité d'acheter des permis supplémentaires à un prix fixe, combine les bienfaits politiques du contrôle par les quantités et l'efficacité du contrôle par les prix. Ainsi, l'instrument hybride est une meilleure alternative que l'une ou l'autre des politiques utilisées de façon individuelle car il est plus flexible et améliore le bien-être.

## 1.2 Contexte fédéral sans incertitude

De leur côté, Boadway *et al.* (2013) modélisent une économie fédérale qui fait face à une pollution transfrontalière. Leur modèle est constitué de deux régions produisant un bien polluant et ayant des travailleurs identiques et mobiles. L'optimum social est caractérisé par une économie décentralisée ayant un prix commun pour les émissions dans les deux régions. De plus, un transfert interrégional permet d'atteindre l'allocation optimale de la population. Enfin, une conclusion impor-

tante de leur modèle informe le lecteur que les niveaux d'émissions et l'allocation de la population entre les régions seront efficaces même en présence de mobilité imparfaite des travailleurs. Toutefois, si celle-ci est parfaite, les transferts interrégionaux ne sont pas nécessaires à l'atteinte de l'optimum.

Le contrôle décentralisé de la pollution transfrontalière est aussi abordé dans les textes de Silva (1997), Silva et Caplan (1997), Caplan, Cornes et Silva (2000) et Naoto et Silva (2008). D'abord, Silva (1997) tente de démontrer que l'efficacité peut être atteinte dans le cadre du contrôle de la pollution transfrontalière sans avoir un gouvernement central. En outre, il affirme que lorsqu'il y a un coût social à avoir un grand nombre de résidents dans une région, les réductions de la pollution peuvent s'avérer efficaces. De plus, comme le font Boadway *et al.* (2013), Silva (1997) précise que les transferts interrégionaux ne sont pas nécessaires pour atteindre cette efficacité s'il y a migration des travailleurs.

Quant à Silva et Caplan (1997), ils tentent d'interpréter l'importance de la structure décisionnelle des divers paliers de gouvernement. Qui plus est, les auteurs cherchent la façon dont se distribuent les responsabilités concernant la régulation de la pollution et comment s'implémentent les différentes politiques environnementales en situation de pollution transfrontalière. Ils en viennent à la conclusion que si le gouvernement fédéral est le décideur public, la quantité de pollution sera plus élevée que celle qui est socialement optimale.

De leur côté, Caplan *et al.* (2000) analysent, à l'aide d'un jeu séquentiel, la provision d'un bien public pur dans une fédération similaire à l'Union européenne. D'abord, les gouvernements régionaux choisissent leur contribution au bien public avant que le niveau fédéral détermine les transferts interrégionaux. Puis, les

travailleurs parfaitement mobiles choisissent leur lieu de résidence. Le bien public de ce modèle est choisi et produit par le gouvernement fédéral. Dans cet article, deux types de régime gouvernemental sont examinés : centralisé et décentralisé. Les auteurs montrent que c'est grâce aux transferts interrégionaux que les régions choisissent les contributions optimales au bien public. En outre, peu importe le degré de mobilité du travail, le niveau de bien public pur et les transferts interrégionaux sont généralement alloués de façon efficiente dans une fédération décentralisée.

Plus récemment, il y a Naoto et Silva (2008) qui ont cherché à évaluer l'efficacité de politiques fédérales lorsque le pouvoir décisionnel est laissé aux régions et qu'il y a présence de pollution transfrontalière et mobilité imparfaite des travailleurs. À la différence de leurs confrères, ils modélisent deux sortes de polluants : l'un pollue seulement localement alors que l'autre pollue tout le territoire fédéral. À l'aide d'un modèle similaire à celui de Boadway *et al.* (2013), ils démontrent que les politiques sont efficaces lorsque le gouvernement central effectue des transferts redistributifs entre les régions et que ceux-ci sont anticipés par les autorités régionales lorsqu'elles choisissent leurs politiques de réduction des émissions, soit par une taxe ou par des niveaux de réduction définis préalablement. Pour arriver à ce résultat, les transferts redistributifs doivent être établis équitablement, c'est-à-dire que le bien-être d'une région est positivement corrélé au bien-être de l'autre région. De cette façon, les gouvernements régionaux choisissent des politiques qui internalisent toutes les externalités.

Contrairement aux autres études décrites auparavant, Aronsson *et al.* (2006) portent leur attention sur la manière d'implémenter une coopération entre les



régions dans un contexte d'une économie décentralisée. En d'autres mots, ils désirent trouver une description réaliste de la structure décisionnelle idéale pour faire face à des problèmes de politiques environnementales. Pour ce faire, ils utilisent un modèle comme celui de Boadway *et al.* (2013). Cependant, leur article se démarque des autres car les auteurs font face à un problème de taxation multiple, soit une taxation non-linéaire sur le revenu et une taxation linéaire sur la consommation. De plus, ils cherchent plutôt à caractériser la structure fiscale optimale et non à vérifier si leur modèle, avec leurs différentes hypothèses, atteint un optimum de Pareto. Leurs résultats démontrent que dans une fédération décentralisée, chaque région utilisera des politiques de taxation afin d'influencer le choix des émissions permises, celles-ci étant choisies par le gouvernement fédéral.

Enfin, dans son article, Oates (1998) étudie l'hypothèse que le contrôle centralisé pour la régulation de la pollution soit un meilleur choix que le contrôle décentralisé puisque cela éviterait la concurrence entre les régions pour attirer de nouvelles firmes, concurrence qui se conclurait par des allocations sous-optimales. Il découvre que, sous certaines conditions, celle-ci est une chose positive puisque cela mène à des choix efficaces de la part des régions. De plus, dans certains cas, il démontre qu'il n'y a pas de compétition entre les régions contrairement à ce que l'hypothèse de départ suggère. Bref, Oates contredit cette dernière et affirme que les contrôles centralisés et décentralisés ont leur raison d'être et qu'il faut utiliser celui qui correspond le mieux à l'économie en question.

La contribution de ce mémoire sera de comparer l'efficacité entre les types de fédérations comme le font Boadway *et al.* (2013) et tous les autres auteurs abordant les problèmes de pollution dans un contexte fédéral, en plus d'intégrer le phé-

nomène d'incertitude, comme Weitzman (1974), Kelly (2005) et Hepburn (2006) l'ont fait, c'est-à-dire en ajoutant de l'incertitude à l'aide d'un choc exogène à la productivité.

## CHAPITRE II

### MODÈLE

Pour aborder la problématique évoquée précédemment, le modèle qui a été développé consiste en une fédération composée de deux régions identiques, dénotées par  $i = 1, 2$  et ayant une population de  $N$  habitants, avec  $n_i$  le nombre d'habitants dans la région  $i$ . Chaque région produit deux biens : un bien propre, noté  $y_i$ , et un bien polluant, noté  $x_i$ , dont chaque unité produite génère une tonne d'émissions de carbone dans l'atmosphère. Consommer ces deux types de biens procure un bénéfice aux consommateurs. La fonction d'utilité de l'agent représentatif de la région  $i$  peut être illustrée par l'expression suivante :

$$u_i(x_i, y_i) = b(x_i) + y_i.$$

Afin de simplifier l'analyse, les préférences du consommateur représentatif sont quasi-linéaires dans le bien propre de façon à éviter l'effet de revenu et  $b(x_i)$  est le bénéfice de consommer le bien polluant, avec  $b_{x_i} > 0$  et  $b_{x_i x_i} < 0$ .<sup>1</sup> Le prix du bien polluant est de  $p_i$  et  $y$  est le numéraire. Nous supposons qu'il n'y a pas de

---

1.  $b_{x_i}$  représente la dérivée partielle de  $b(x_i)$  par rapport à  $x_i$  et  $b_{x_i x_i}$  est la dérivée seconde de  $b(x_i)$  par rapport à  $x_i$ .

coût à l'échange, donc  $p_i = p$ . Sachant cela, la contrainte budgétaire de l'agent représentatif peut s'écrire :

$$px_i + y_i \leq w_i \quad (2.1)$$

où  $w_i$  est son revenu. Par simplification, nous supposons une offre de travail inélastique d'une unité par travailleur. Ainsi, l'offre de travail de la région  $i$  correspond à son nombre d'habitant, soit  $n_i$ .

Dans ce modèle, il y aura deux secteurs concurrentiels par région : un produisant le bien propre,  $y_i$  et un qui produit le bien polluant,  $x_i$ . Les politiques de réduction des émissions de carbone auront des conséquences directes seulement sur les décisions de ce dernier. La fonction de production pour le bien  $y$  dans la région  $i$ , sera dénotée  $F(n_{yi})$  où  $n_{yi}$  est le nombre de travailleurs dans le secteur propre. Celle pour le bien  $x$  s'écrira  $F(n_{xi}, \theta)$  avec  $n_{xi}$  étant le nombre de travailleurs dans ce secteur et  $\theta$  correspondant à un choc exogène touchant seulement le secteur réglementé. Ce dernier peut prendre une valeur élevée, notée  $\theta^H$ , avec une probabilité de  $q$  ou une valeur faible, notée  $\theta^L$ , avec une probabilité de  $1 - q$ . Nous ferons l'hypothèse que le choc moyen n'a pas d'effet sur les fonctions de production et qu'il est identique dans les deux régions. Les deux fonctions de production sont positives et strictement croissantes et concaves en  $n_{yi}$  et  $n_{xi}$  respectivement et elles sont croissantes et linéaires en  $\theta$ . Notons que  $n_{yi} + n_{xi} = n_i$ . Ceci étant dit,  $F_{n_{xi}}(n_{xi}, \theta^H) > F_{n_{xi}}(n_{xi}, \theta^L) \forall n_{xi}$ .<sup>2</sup> Cette hypothèse est importante afin de représenter la nature du choc économique. Ainsi, pour un nombre de travailleurs donnés, un choc élevé ( $\theta^H$ ) augmente non seulement la production totale, mais

---

2.  $F_{n_{xi}}(n_{xi}, \theta)$  est la dérivée partielle de la fonction de production par rapport à l'intrant travail,  $n_{xi}$ .

il augmente aussi la productivité marginale du travail. Autrement dit, le choc économique est un choc à la productivité du travail. Enfin, le salaire de l'agent travaillant dans le secteur produisant le bien  $x$ , sera noté  $w_{xi}$  et celui du travailleur de le secteur qui produit le bien propre sera notée  $w_{yi}$ .

Pour commencer, il n'y aura pas de migration entre les deux régions. Afin de mieux représenter la réalité canadienne, la migration sera ajoutée au modèle au chapitre suivant. Une comparaison des résultats avec et sans migration sera possible à ce moment, ce qui permettra de bien comprendre l'impact du relâchement de cette hypothèse. De plus, nous supposons que le gouvernement fédéral ne fera pas de transferts interrégionaux. En tenant compte de ces dernières hypothèses, la contrainte de production dans la région  $i$  pour l'industrie produisant le bien propre s'écrit  $Y_i \leq F(n_{yi})$  et celle pour le secteur offrant le bien polluant est  $X_i \leq F(n_{xi}, \theta)$  où  $Y_i$  est la consommation totale de  $y$  dans la région  $i$  et  $X_i$  est la consommation tolérée de  $x$  dans la région  $i$ .

## 2.1 Équilibre sans réglementation

Dans chaque région, les deux industries présentes ont pour objectif de maximiser leur profit tout en respectant leur contrainte de production.  $\Pi_{xi}^{BAU} = pX_i - n_{xi}w_{xi}$  correspond au profit dans le secteur polluant et  $\Pi_{yi}^{BAU} = Y_i - n_{yi}w_{yi}$  représente les profits du secteur produisant le bien propre. Les deux régions sont identiques à l'exception de l'instrument utilisé pour contrôler les émissions de carbone. D'abord, il faut trouver l'équilibre concurrentiel lorsqu'il n'y a pas de politique pour contrôler la pollution. Les secteurs produisent les quantités de biens  $x_i$  et  $y_i$

qui maximisent leurs profits respectifs, tel que :

$$X_i^{BAU} \equiv \arg \max_{n_{xi}} \Pi_{xi}^{BAU}$$

sujet à la contrainte suivante :

$$F(n_{xi}, \theta) \geq X_i \quad (2.2)$$

et

$$Y_i^{BAU} \equiv \arg \max_{n_{yi}} \Pi_{yi}^{BAU}$$

sujet à sa contrainte de production

$$F(n_{yi}) \geq Y_i \quad (2.3)$$

où  $X_i^{BAU}$  est la quantité du bien polluant choisie par le secteur dans la région  $i$  lorsqu'il n'y a pas de réglementation sur les émissions de carbone alors qu' $Y_i^{BAU}$  est la quantité du bien propre choisie pour la région  $i$  sous ces mêmes conditions.<sup>3</sup> Les contraintes sont satisfaites à stricte égalité dans le cas où les conditions d'Inada sont vérifiées. Ici, nous présumons que les fonctions de production les satisfont, c'est-à-dire que leurs pentes tendent vers l'infini quand la production tend vers zéro et que leurs pentes tendent vers zéro quand la production tend vers l'infini. Ainsi, on peut substituer les contraintes dans les problèmes d'optimisation. Ces

---

3. *BAU* signifie *Business As Usual* et indique les résultats sans réglementation

derniers deviennent :

$$\max_{n_{xi}} \Pi_{xi}^{BAU} = pF(n_{xi}, \theta) - n_{xi}w_{xi}$$

$$\max_{n_{yi}} \Pi_{yi}^{BAU} = F(n_{yi}) - n_{yi}w_{yi}.$$

Les conditions de premier ordre pour chaque secteur par rapport au travail sont les suivantes :

$$pF_{n_{xi}}(n_{xi}, \theta) - w_{xi} = 0 \quad (2.4)$$

$$F_{n_{yi}}(n_{yi}) - w_{yi} = 0. \quad (2.5)$$

L'équation 2.4 égalise la productivité marginale multipliée par le prix du bien  $x_i$  au coût marginal du travail, soit  $pF_{n_{xi}}(n_{xi}, \theta) = w_{xi}$ . L'équation 2.5 indique la même conclusion pour le bien propre, soit  $F_{n_{yi}}(n_{yi}) = w_{yi}$ . Ces résultats ne sont pas surprenants puisque, par construction, les régions ont chacune deux secteurs et que ceux-ci sont concurrentiels, c'est-à-dire que le salaire est égal à la productivité marginale du travail. Pour les bienfaits du modèle, nous assumons qu'il y a une solution intérieure, c'est-à-dire que chaque secteur a une production positive. Par conséquent, puisque les travailleurs sont homogènes et qu'à l'équilibre,  $w_{xi}$  et  $w_{yi}$  doivent être égaux pour qu'il y ait des travailleurs dans les deux industries, nous obtenons que la valeur des productivités marginales doivent être égales dans les deux secteurs :  $pF_{n_{xi}}(n_{xi}, \theta) = F_{n_{yi}}(n_{yi})$ .

Du côté du consommateur, celui-ci choisit les quantités de chaque bien qui maximisent son utilité. Ainsi, l'agent représentatif de la région  $i$  fait face au problème suivant avec  $\mu$ , le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte budgétaire,

soit l'équation 2.1 :

$$\max_{x_i, y_i} \mathcal{L} = b(x_i) + y_i - \mu [px_i + y_i - w_i].$$

Les conditions de premier ordre par rapport à  $x_i$  et  $y_i$  sont :

$$b_{x_i} = \mu p \tag{2.6}$$

$$1 = \mu. \tag{2.7}$$

En combinant les deux équations, l'utilité marginale du bien  $x_i$  est égale à son coût marginal. Notons également que  $w_i$  doit être suffisamment grand pour obtenir une solution intérieure dans la quantité consommée de  $x_i$  étant donné la quasi-linéarité dans les préférences.

Si l'économie fait face à un choc élevé,  $\theta^H$ , cela aura un impact positif seulement sur la fonction de production du secteur qui produit le bien polluant. Ainsi, la productivité marginale du travail dans le secteur sale augmente. De l'équation 2.4, lorsque celle-ci augmente, le salaire dans l'industrie polluante doit augmenter. Ceci a pour effet un déplacement des travailleurs du secteur du bien  $y$  vers celui du bien  $x$  jusqu'au retour de l'égalité des salaires entre les deux industries. Il y aura donc plus de travailleurs produisant le bien sale qu'avant l'avènement du choc. Ceci fera augmenter la production de ce dernier et par le fait même, sa consommation. Enfin, comme le nombre de travailleurs a diminué dans le secteur propre, la production de ce bien aura baissé également. L'effet contraire se produit lorsque le choc est faible.



## 2.2 Contrôle décentralisé

Dans cette sous-section, il faut analyser le cas où des politiques sont appliquées pour contrôler les émissions de carbone. La région 1 utilisera un système de permis échangeables avec  $\delta$ , le prix des permis sur le marché, alors que la région 2 utilisera plutôt une taxe appliquée à chaque tonne de carbone émise, dénotée  $t$ .

Dans ce modèle, il n'y aura pas de dommage explicite de la pollution subi par la population. En effet, cela se justifie bien dans le cas d'un pays dont les émissions ne contribuent que marginalement aux dommages mondiaux et où les objectifs de réduction sont fixés pour des raisons politiques sans égard aux dommages engendrés par les émissions produites. Ces deux cas s'appliquent bien au Canada, qui ne représente que 1,6 % des émissions mondiales et dont les objectifs de réductions sont éminemment politiques (Gouvernement du Canada, 2017). Par conséquent, les gouvernements de chaque région auront plutôt des objectifs de réduction exogènes au modèle. Ainsi, l'objectif du gouvernement de la région  $i$  sera de réduire les émissions d'une fraction  $1 - B_i$  des émissions moyennes sans réglementation par période, dénotée  $\bar{X}_i^{BAU}$ , avec  $0 < B_i < 1$ . Les émissions moyennes sans réglementation peuvent s'écrire :

$$\bar{X}_i^{BAU} = qX_i^{BAU}(\theta^H) + (1 - q)X_i^{BAU}(\theta^L)$$

avec  $0 < q < 1$ .

En outre, les revenus générés par la tarification du carbone seront redistribués

de façon forfaitaire aux consommateurs. Ce montant, dénoté  $G_i$ , correspond au total amassé par le biais des droits de pollution vendus au prix  $\delta$  dans la région utilisant cet instrument ou encore par les recettes de la taxe sur les émissions de GES dans la région ayant choisie cette dernière. Pour la région 1, nous aurons :

$$G_1 = \delta X_1 \quad (2.8)$$

et pour la région 2, ce sera :

$$G_2 = tX_2. \quad (2.9)$$

Ce faisant, la contrainte budgétaire sera modifiée de la manière suivante :

$$px_i + y_i = w_i + g_i \quad (2.10)$$

où  $g_i$  représente le montant forfaitaire per capita.

Alors, le secteur produisant le bien polluant dans la région 1 fait face au problème suivant :

$$\max_{n_{x1}, Z_1} \Pi_1(X_1, \theta) = pX_1(n_{x1}, \theta) - n_{x1}w_{x1} - \delta Z_1$$

sujet à

$$F(n_{x1}, \theta) \geq X_1,$$

$$Z_1 \geq X_1(n_{x1}, \theta)$$

et à

$$X_1 \leq B_1 \bar{X}_1^{BAU}$$

où  $X_1$  est la quantité totale produite dans la région 1. Quant à  $Z_1$ , elle représente le

nombre de permis acheté par l'industrie polluante. En effet, le secteur produisant le bien  $x$  doit se procurer des droits de pollution puisqu'il génère des émissions de GES dans l'atmosphère. Pour chaque bien produit, il doit au préalable détenir un droit de pollution. Comme les permis sont échangeables, nous supposons que la seconde contrainte sera satisfaite à stricte égalité car il n'est pas optimal pour un secteur de conserver des permis non utilisés.<sup>4</sup>

Enfin, la troisième contrainte indique que la production totale du bien polluant,  $X_1$ , ne peut dépasser le nombre de permis émis par le gouvernement,  $B_1 \bar{X}_1^{BAU}$ , car ce nombre est celui qui permet de respecter l'objectif de réduction de carbone qu'il s'est fixé. Cette contrainte sera satisfaite à stricte égalité lors d'un choc élevé sur l'économie de la région en question. En effet, comme la productivité marginale du travail est strictement plus grande dans une situation d'expansion économique que dans le cas d'une récession, on sait que  $X_i^{BAU}(\theta^H) > X_i^{BAU}(\theta^L)$ . De plus, comme la probabilité qu'un choc élevé survienne est de  $q$  et que la probabilité que ce soit un choc faible qui affecte l'économie de la région est de  $1 - q$ , les émissions moyennes sont illustrées par l'expression suivante :  $\bar{X}_i^{BAU} = qX_i^{BAU}(\theta^H) + (1 - q)X_i^{BAU}(\theta^L)$  avec  $0 < q < 1$ . De cela, on sait que  $X_i^{BAU}(\theta^H) > \bar{X}_i^{BAU} > X_i^{BAU}(\theta^L)$ . Ainsi, en présence de  $\theta^H$ , la contrainte d'objectif de réduction est toujours mordante. Dans le cas contraire, en situation de récession économique, il faut que le choc faible soit assez petit ou encore que la fraction  $1 - B_i$  soit suffisamment grande pour que la contrainte soit liante. Si  $B_i$  est trop près de 1, cette dernière ne sera pas contraignante et  $\delta_i$  sera nul, c'est-à-dire que les permis n'auront pas de valeur.

---

4. En situation d'incertitude, il pourrait être intéressant de conserver des permis inutilisés. Or, il faudrait développer un modèle dynamique pour considérer cette hypothèse, ce qui ne sera pas fait dans le cadre de ce travail.

Pour les besoins du modèle, nous ferons l'hypothèse que le choc faible sera assez petit pour satisfaire la contrainte à stricte égalité.

Ainsi, le problème d'optimisation, après avoir substitué la première contrainte dans l'équation de profit et en utilisant  $\lambda$  comme multiplicateur de Lagrange pour la deuxième, se lit comme suit :

$$\max_{n_{x1}, Z_1} \mathcal{L} = pF(n_{x1}, \theta) - n_{x1}w_1 - \delta Z_1 - \lambda [F(n_{x1}, \theta) - Z_1].$$

Les conditions du premier ordre par rapport à  $n_{x1}$  et  $Z_1$  sont respectivement :

$$(p - \lambda)F_{n_{x1}}(n_{x1}, \theta) - w_1 = 0 \quad (2.11)$$

$$\delta = \lambda^*. \quad (2.12)$$

En combinant l'équation 2.11 et 2.12, l'équation 2.11 peut être réécrite comme suit :

$$(p - \delta)F_{n_{x1}}(n_{x1}, \theta) = w_1. \quad (2.13)$$

Pour l'équation 2.13, de la même façon que lorsqu'il n'y avait pas de réglementation, la valeur de la productivité marginale égale le coût marginal. La différence est que la valeur des permis à acheter pour produire le bien  $x_1$  est soustraite du prix du bien produit. L'équation 2.12 indique, quant à elle, que le prix des permis sera égal au poids que la contrainte de réduction des émissions de carbone a sur la productivité :  $\delta = \lambda^*$ . En effet, lorsque  $Z_1$  est petit, la hausse de bien-être, en terme monétaire, obtenue lors de l'achat d'un permis supplémentaire est supérieure au prix de celui-ci, soit  $\delta$ . Le secteur polluant se procure ainsi des droits

de pollution additionnels. Si, au contraire,  $Z_1$  est grand, le bien-être gagné par l'achat d'un permis supplémentaire est inférieure au prix de celui-ci. Le secteur polluant voudra donc se défaire d'un certain nombre de ses droits de pollution. Ce dernier sera satisfait du nombre de permis qu'il possède lorsque l'équilibre entre  $\delta$  et  $\lambda$  sera rétabli.

En période d'expansion économique,  $F_{n_{x_1}}(n_{x_1}, \theta^H)$  sera plus élevée, et puisque  $X_1$  est fixe,  $n_{x_1}$  devra diminuer pour équilibrer la hausse de productivité dans ce secteur. Les travailleurs de ce dernier devront se tourner vers le secteur propre. En conséquence, la production de  $Y_1$  augmentera. L'afflux des travailleurs dans cette industrie diminuera la productivité marginale du travail ce qui provoquera une réduction du salaire. Puisque les salaires des deux secteurs doivent rester égaux, celui du secteur sale diminuera également. De plus, comme l'indique l'équation 2.13, le prix des permis augmentera pour conserver l'égalité. Une expansion économique hausse effectivement le poids que la contrainte des permis a sur la fonction de production. Autrement dit,  $\lambda$  sera plus élevé et  $\delta$  absorbera une part de ce choc économique en augmentant aussi. Étant donné que la consommation du bien polluant ne peut augmenter à cause de cette même contrainte, il n'y aura pas de variation de la quantité produite. De plus, cette condition ajoutée à l'équation 2.4 fait en sorte que son prix demeure constant aussi. Ainsi, la quantité demandée de  $x_1$  sera inchangée. Quant à l'agent représentatif, il aura un revenu disponible supérieur qu'initialement puisque le gouvernement lui versera un transfert forfaitaire grâce aux recettes générées par la vente des permis échangeables. Cela lui permettra de consommer la quantité produite de  $y_1$  supplémentaire malgré un salaire d'équilibre inférieur qu'ex ante.

Si c'est plutôt un choc faible qui frappe l'économie régionale, la contrainte d'émission devient moins mordante, ce qui pousse les travailleurs à changer de secteur au profit du secteur sale. En conséquence, la production de  $Y_1$  diminuera et le salaire de cette industrie augmentera. Les salaires des deux secteurs devant rester égaux, ceci haussera aussi celui du secteur polluant. Par ailleurs, le prix des permis diminue car la quantité produite demeure fixe et l'objectif de réduction des émissions que le gouvernement désire obtenir est moins contraignant sur la production du secteur. En somme, il n'y aura pas d'effet sur la quantité consommée du bien générant des émissions car la quantité produite et son prix demeurent constants tandis que la quantité produite du bien propre sera moindre qu'initialement puisque le transfert des revenus des permis aura suffisamment diminué pour compenser davantage la hausse de salaire.

Le problème du producteur du bien polluant dans la région 2 se lit comme suit :

$$\max_{n_{x2}} \mathcal{L} = (p - t)F(n_{x2}, \theta) - n_{x2}w_{x2}.$$

La condition du premier ordre par rapport au travail est :

$$(p - t)F_{n_{x2}}(n_{x2}, \theta) - w_{x2} = 0. \quad (2.14)$$

Ce secteur de la région 2 maximise aussi son profit mais ne fait face qu'à la contrainte de production puisque le niveau de la taxe est fixe, donc la quantité d'émissions dépend de celle-ci et de la réalisation du choc. Toutefois, la taxe choisie fera en sorte que la quantité d'émissions de carbone sera égale, en moyenne, à celle respectant l'objectif de réduction que le gouvernement s'est

fixé, soit  $B_2\bar{X}_2^{BAU}$ . Nous aurons donc  $t$  tel que  $\bar{X}_2(t) = B_2\bar{X}_2^{BAU}$  avec  $\bar{X}_2(t) = qX_2(t, \theta^H) + (1 - q)X_2(t, \theta)$  représentant les émissions moyennes désirées selon l'objectif de réduction à atteindre et  $X_2$  correspondant à la solution de l'équation 2.14. Ceci étant dit, ce niveau de taxe choisi par le gouvernement régional sera le niveau optimal. Quant à  $\bar{X}_2^{BAU}$ , il désigne simplement les émissions moyennes lorsqu'il n'y a pas de réglementation.

De la même façon que dans la région 1, la condition du premier ordre égalise la valeur de la productivité marginale au coût marginal du travail. Les résultats face aux fluctuations économiques dans cette région se répercutent sur les quantités produites de  $X_2$  puisque la taxe est fixée à l'avance. Dès lors, un choc élevé affecte l'économie,  $F_{n_{x_2}}(n_{x_2}, \theta^H) > F_{n_{x_2}}(n_{x_2}, \theta)$  et cette hausse de la productivité permet non seulement de produire davantage de bien polluant mais aussi plus de bien propre. Pour cela, certains travailleurs du secteur sale devront être transférés dans l'autre industrie. Ce faisant, les productions de  $X_2$  et de  $Y_2$  augmenteront. Comme le bénéfice marginal du bien polluant diminue avec  $x$  l'équation 2.1 démontre que le prix de ce dernier diminue aussi lorsque  $x$  augmente ce qui signifie que l'agent consommera en totalité cette quantité produite. De plus, comme il y a un plus grand nombre de travailleurs dans le secteur propre, la productivité marginale et le salaire de celui-ci diminue, ce qui entraînera également une baisse de celui du secteur polluant car ceux-ci doivent demeurer égaux à l'équilibre. Enfin, la quantité consommée de  $y_2$  sera supérieure qu'auparavant car bien que le salaire de l'agent soit plus faible, il recevra un montant  $g_2$  plus élevé du gouvernement.

Dans le cas d'une récession économique, la productivité marginale du travail diminue, et en conséquence, la production de  $X_2$  et de  $Y_2$  aussi. Il y aura un mou-

vement des travailleurs du secteur propre vers le secteur sale pour permettre une production positive de  $X_2$ . Comme  $p$  aura augmenté, la quantité demandée de  $x$  sera inférieure qu'avant la réalisation du choc. Il y aura une baisse du revenu disponible causée par une diminution de  $g_2$  et par une réduction du nombre de travailleurs dans cette industrie. Cela fera en sorte que la quantité demandée et produite du bien propre sera plus faible que son niveau initial.

Bref, le choix de l'instrument a un effet sur l'équilibre puisque, dans le cas du système de plafonnement et d'échange, le choc économique n'a aucun effet sur la quantité produite du bien sale car celle-ci est fixe. Toutefois, une partie de son effet est absorbée par le prix des droits de pollution. Or, en présence d'une taxe, l'impact du choc fait varier la production d'émissions car le niveau de la taxe demeure constant.

Dans cette dernière analyse, il est intéressant de constater l'effet contre-intuitif du choc qui se produit dans les deux régions. Une expansion économique amène une diminution des salaires et une hausse de la consommation du bien propre, alors qu'un ralentissement engendre une hausse des salaires, mais une réduction de la consommation du bien propre.

### 2.3 Contrôle centralisé

Une autre analyse intéressante consiste à savoir ce qui se passe, dans cette fédération, si le gouvernement central bienveillant impose l'instrument de contrôle de la pollution aux régions. Autrement dit, quels seront les impacts si les deux régions utilisent le même instrument ? D'abord, comme les régions sont identiques,



si elles utilisent toutes les deux un système d'échange de droits de pollution, il y aura deux fois plus de permis émis au total. En effet, la quantité de bien polluant produite par la fédération sera fixée à l'avance par le gouvernement central, et ainsi, comme les régions ont la même fonction de production et donc, la même productivité marginale, elles se sépareront en parts égales cette quantité à produire. Cette quantité sera celle qui satisfait l'objectif de réduction des émissions de la fédération, soit  $B_F \bar{X}_F^{BAU}$  où  $\bar{X}_F^{BAU}$  représente les émissions moyennes de la fédération s'il n'y a pas de réglementation. Le nombre de permis émis  $Z_F$  est deux fois plus grand que  $Z_1$ , ce qui fait qu'après les avoir séparé en parts égales, la quantité par région sera la même que celle obtenue auparavant dans la région 1. Ainsi, pour le secteur polluant, la fédération fait face au problème d'optimisation suivant :

$$\max_{x_1, x_2, Z_1, Z_2} \Pi_F(X_1, X_2, \theta) = p(X_1 + X_2) - n_{x1}w_{x1} - n_{x2}w_{x2} - \delta(Z_1 + Z_2)$$

sujet à

$$F(n_{x1}, \theta) \geq X_1 \tag{2.15}$$

$$F(n_{x2}, \theta) \geq X_2 \tag{2.16}$$

et à

$$[Z_1 - X_1(n_{x1}, \theta)] \geq 0; \phi \geq 0; \tag{2.17}$$

$$[Z_2 - X_2(n_{x2}, \theta)] \geq 0; \gamma \geq 0; \tag{2.18}$$

avec relâchement complémentaire.  $Z_i$  représente le nombre de permis achetés par le secteur polluant dans la région  $i$  et  $Z_1 + Z_2$  correspond à  $Z_F$ , soit le nombre

de permis émis au total dans la fédération. En substituant les deux premières contraintes dans le problème de maximisation et en utilisant  $\phi$  et  $\gamma$  comme multiplicateurs de Lagrange pour la troisième et quatrième contrainte respectivement, le lagrangien peut s'écrire de la façon suivante :

$$\begin{aligned} \max_{n_{x1}, Z_1, n_{x2}, Z_2} \mathcal{L} = & p [F(n_{x1}, \theta) + F(n_{x2}, \theta)] - n_{x1}w_1 - n_{x2}w_2 - \delta(Z_1 + Z_2) \\ & - \phi [F(n_{x1}, \theta) - Z_1] - \gamma [F(n_{x2}, \theta) - Z_2]. \end{aligned}$$

Les conditions de premier ordre par rapport à  $n_{x1}$ ,  $Z_1$ ,  $n_{x2}$  et  $Z_2$  sont respectivement :

$$(p - \phi)F_{n_{x1}}(n_{x1}, \theta) - w_1 = 0 \quad (2.19)$$

$$\delta = \phi^* \quad (2.20)$$

$$(p - \gamma)F_{n_{x2}}(n_{x2}, \theta) - w_2 = 0 \quad (2.21)$$

$$\delta = \gamma^*. \quad (2.22)$$

En combinant les équations 2.19 et 2.20 et les équations 2.21 et 2.22, les équations 2.19 et 2.21 peuvent s'écrire comme suit :

$$(p - \delta)F_{n_{x1}}(n_{x1}, \theta) = w_1 \quad (2.23)$$

$$(p - \delta)F_{n_{x2}}(n_{x2}, \theta) = w_2. \quad (2.24)$$

Les mêmes résultats sont obtenus que lors de l'analyse de la région 1. Le choc économique affecte les salaires d'équilibre par le biais du mouvement des travailleurs. Puisque  $X_1$  et  $X_2$  sont fixes, les travailleurs se déplaceront entre les secteurs. Un

choc élevé diminue les salaires d'équilibre alors qu'un choc faible les augmente. Il y a aussi une fluctuation dans le prix des permis échangeables,  $\delta$ . Si le choc est élevé, ce prix augmentera et s'il est faible, il diminuera. Dans les deux cas, la consommation du bien sale n'est pas modifiée puisque son prix reste constant. Toutefois, le bien propre sera produit en plus grande quantité en présence de  $\theta^H$  alors que sa production diminuera si  $\theta^L$  survient. En outre,  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_F$  et celui-ci est le même que celui trouvé lorsqu'il n'y avait que la région 1 qui utilisait les permis, et il varie selon la réalisation du choc exogène.

D'un autre côté, si la fédération choisit plutôt d'utiliser la taxe sur le carbone pour réduire ses émissions, ce sera les quantités produites qui vont varier. La taxe choisie par le gouvernement fédéral sera telle que la quantité moyenne de bien polluant produit lorsque cette taxe est en place satisfait l'objectif de réduction des émissions. Ce sera la même pour les deux régions puisqu'elles sont identiques. Un planificateur bienveillant maximise les profits dans le secteur polluant pour chaque région comme suit :

$$\max_{n_{x1}, n_{x2}} \Pi_F(X_1, X_2, \theta) = (p - t)(X_1 + X_2) - n_{x1}w_{x1} - n_{x2}w_{x2}$$

tout en respectant les contraintes de production de chaque région, soit les équations 2.15 et 2.16. Ce dernier choisit indirectement les quantités produites dans chaque région en choisissant le nombre de travailleurs dans les secteurs polluants. Nous avons les conditions de premier ordre suivantes par rapport à  $n_{x1}$  et  $n_{x2}$  respectivement :

$$(p - t)F_{n_{x1}}(n_{x1}, \theta) - w_{x1} = 0 \tag{2.25}$$

$$(p - t)F_{n_{x_2}}(n_{x_2}, \theta) - w_{x_2} = 0. \quad (2.26)$$

Ainsi, en présence d'une expansion économique, la productivité marginale du travail dans l'industrie du bien  $x$  augmente, ce qui permet d'accroître la production de ce bien et aussi de  $y$ . Cela nécessitera cependant une augmentation du nombre de travailleurs dans ce dernier secteur. À l'équilibre, il y aura une hausse des quantités produites et les revenus seront plus élevés qu'avant l'arrivée du choc. Au total, la quantité produite de bien polluant sera plus élevée que lorsqu'il y avait un système décentralisé car le phénomène se produit dans les deux régions simultanément. Enfin, les quantités produites de  $Y_1$  et  $Y_2$  seront plus élevées à l'équilibre.

Dans le cas d'une récession économique, le processus inverse se produit : la quantité produite du bien sale sera inférieure qu'ex ante et les salaires d'équilibre se retrouveront au dessus de leur niveau initial. Toutefois, la réduction de  $X_i$  fera diminuer  $g_i$  ce qui signifie que les revenus totaux seront inférieurs. La quantité du bien propre sera, quant à elle, plus faible dans les deux régions.

## CHAPITRE III

### RÉSULTATS DE L'ANALYSE THÉORIQUE

#### 3.1 Régions identiques sans migration

Le tableau 3.1 résume l'impact du choc exogène pour chacune des variables étudiées lorsque le contrôle de la pollution est décentralisé, c'est-à-dire lorsque les régions choisissent elles-mêmes l'instrument de réglementation.

Tableau 3.1: Résultats du système décentralisé en présence d'un choc exogène

Variables \ Choc exogène	Aucun choc	$\theta^H$	$\theta^L$
$X$	$X_1 = X_2$	$X_1 < X_2$	$X_1 > X_2$
$Y$	$Y_1 = Y_2$	$Y_1 > Y_2$	$Y_1 < Y_2$
$n_x$	$n_{x1} = n_{x2}$	$n_{x1} < n_{x2}$	$n_{x1} > n_{x2}$
$n_y$	$n_{y1} = n_{y2}$	$n_{y1} > n_{y2}$	$n_{y1} < n_{y2}$
$\delta, t$	$\delta_1 = t$	$\delta_1 > t$	$\delta_1 < t$
$w$	$w_1 = w_2$	$w_1 < w_2$	$w_1 > w_2$

D'abord, dans le tableau 3.1, la quantité de bien polluant est fixée à l'avance pour la région 1 et ne bouge donc pas, peu importe le choc qui affecte l'économie. Pendant ce temps, la région 2, qui priorise l'utilisation de la taxe, voit la quantité

de ce même bien varier. En outre, lorsqu'il n'y a aucun choc sur l'économie, l'ensemble des variables sont égales dans les deux juridictions puisque celles-ci sont identiques.

Sachant que la productivité marginale du travail est supérieure en présence d'un choc élevé que celle lorsqu'un choc faible survient et que la quantité de bien polluant qui respecte l'objectif de réduction des émissions de carbone dans la seconde région peut s'écrire comme suit :

$$\bar{X}_2 = q \cdot X_2(t, \theta^H) + (1 - q) \cdot X_2(t, \theta^L),$$

on constate que  $\bar{X}_2$  est aussi égale à  $X_1$ . Ainsi, on sait que  $X_2(\theta^H) > X_1 > X_2(\theta^L)$  avec  $0 < q < 1$ .

Quand le système est centralisé et que les deux régions utilisent un système de permis échangeables, la quantité du bien sale pour les deux régions est fixe. Ainsi,  $X_1 = X_2$  car les régions sont identiques. Par conséquent,  $X_F = 2X_1$ . Enfin, lorsque les deux régions utilisent la taxe pour réglementer les émissions de carbone, on constate que si le choc est élevé, la quantité de  $X_F$  sera plus grande car la hausse survient dans les deux régions alors que si ce choc est faible, elle sera plus petite. En utilisant ces informations, on arrive à l'expression suivante pour caractériser les différentes quantités d'émissions totales obtenues, selon la réalisation du choc et les instruments utilisés dans chacune des régions :

$$2X_2(\theta^L) < X_1 + X_2(\theta^L) < X_F = 2X_1 < X_1 + X_2(\theta^H) < 2X_2(\theta^H) \quad (3.1)$$

avec  $2X_2(\theta)$  correspondant à la quantité totale de bien polluant dans la fédération lorsque les deux régions utilisent la taxe selon le choc survenu. Quant à  $X_1 + X_2(\theta)$ , il désigne la quantité totale dans la fédération lorsque la région 1 utilise les permis et la région 2 la taxe, et cela en fonction de la réalisation du choc économique  $\theta$ .

**Proposition 1.** *Lorsque les régions sont identiques, que la migration n'est pas possible et que, si le contrôle de la pollution est décentralisé, la première région utilise un système de plafonnement et d'échange alors que la seconde priorise une taxe sur les émissions produites, nous obtenons les résultats illustrés par l'équation 3.1. Lorsque la fédération opte pour un contrôle décentralisé de la pollution, la quantité d'émissions de GES produites se retrouve dans une position intermédiaire entre les deux cas où le contrôle de la pollution est fait par des politiques centralisées.*<sup>1</sup>

Quant au bien propre, l'effet du choc élevé est positif dans les deux régions alors qu'il est négatif en présence d'un choc de nature faible. Il faut donc se fier au nombre de travailleurs dans ce secteur pour mieux comprendre ce qui se passe avec la quantité produite de  $Y_i$ . Puisqu'en présence d'un choc élevé  $n_{y1} > n_{y2}$ , alors  $Y_1 > Y_2$ . Dans le cas contraire,  $Y_1 < Y_2$  car il y a moins de travailleurs dans le secteur propre de la région 1 que dans celui de la région 2.

Ensuite, le prix des permis,  $\delta$ , varie avec la nature du choc. En effet,  $\delta(\theta^H) > \delta^* = t^* > \delta(\theta^L)$ . Que ce soit uniquement la région 1 qui utilise les permis ou que ce soit les deux régions en même temps, cette équation tient. La hausse du prix

---

1. Les preuves sont présentées dans l'annexe A

des permis lorsqu'il y a un choc élevé est effectivement la même dans les deux situations. Le contraire est aussi vrai lorsque le choc est faible.

Par ailleurs, le tableau indique que les salaires d'équilibre varient inversement au choc lorsque le système de permis échangeables est utilisé alors qu'ils fluctuent avec le choc si c'est la taxe qui est l'instrument choisi. Bien qu'à l'équilibre, les salaires des deux secteurs sont égaux, ceux-ci diffèrent lorsque le choc économique survient. C'est le transfert des travailleurs entre les secteurs qui rétablit l'égalité entre les salaires. Bref, à l'équilibre,  $w_1(\theta^L) > w_1(\theta^H)$  et  $w_2(\theta^L) > w_2(\theta^H)$ . Puisque le choc affecte la productivité marginale du travail de la même façon dans les deux régions, la variation des salaires d'équilibre sera la même que ce soit seulement la région 2 qui utilise la taxe ou bien lorsque que la fédération impose celle-ci à ses deux régions.

Enfin, notons que le changement de la quantité de travailleurs dans le secteur propre est à l'opposé de celle du bien polluant. Ceci est expliqué par l'effet du choc sur les salaires et le transfert des travailleurs d'un secteur à l'autre.

Pour finir, il faudrait comparer les niveaux de bien-être des différentes situations dans laquelle la fédération peut se trouver. Pour ce faire, le gouvernement de la région  $i$  aura comme fonction de bien-être social l'expression suivante :

$$W_i = n_i [b(x_i) + y_i]$$

en supposant que le gouvernement a une fonction de bien-être qui est de type utilitariste, c'est-à-dire qu'elle est la somme des utilités de chaque individu de cette région. Comme il est plus difficile de comparer le bien-être des régions en utilisant



la fonction d'utilité des agents représentatifs, la fonction d'utilité indirecte choisie sera la suivante :  $v_i [w_i(\theta), p_i(\theta), g_i(\theta)] = u_i(x_i^*(p_i, w_i, g_i), y_i^*(w_i, g_i))$ . La fonction de bien-être social devient :

$$W_i = n_i \cdot v_i(w_i, p_i, g_i). \quad (3.2)$$

Lorsqu'une région utilise les permis comme instrument, la quantité consommée de bien polluant et son prix demeurent fixes. Un choc exogène affecte plutôt le prix des permis sur le marché et par conséquent, le transfert gouvernemental, en plus de toucher les salaires d'équilibre. Ceci étant dit, le salaire de l'agent diminue avec un choc élevé et il augmente en présence d'un choc faible. Le prix des permis varie dans le même sens que le choc, et donc  $g_i$  aussi. En somme, le bien-être de la région 1 est plus élevé durant une expansion économique et il diminue en période de récession.

Lorsque la taxe est favorisée, la quantité produite du bien polluant est libre de fluctuer tout comme les variables du marché du travail. Un choc élevé aura un effet positif sur la productivité marginale dans ce secteur. Ce choc génèrera une hausse de la quantité produite de  $X_i$  et après un transfert de certains travailleurs de ce secteur vers le secteur propre, il y aura également une hausse de  $Y_i$ . À l'équilibre, les salaires seront de nouveau égaux mais plus élevés qu'avant le choc. De plus, le prix du bien sale aura diminué avec la hausse de  $X$ . Bref, le bien-être des consommateurs augmentera puisque ceux-ci pourront accroître leur utilité en se procurant davantage de bien sale à un prix plus bas. Ils consommeront aussi plus de bien propre grâce à la hausse de leur salaire et au transferts forfaitaires qu'ils recevront. Or, si la région fait face à un ralentissement économique, le phénomène inverse se produit et le bien-être de la région sera moindre.

En définitive, si le choc économique est élevé, le bien-être augmente dans les deux régions. Néanmoins, il hausse davantage dans la région favorisant l'utilisation de la taxe comme instrument de tarification du carbone. Si le choc est faible, le bien-être de cette même région sera en deça de celui de la région utilisant un système de plafonnement et d'échange, bien qu'il diminue dans les deux régions.

En résumé, dans une fédération avec un contrôle de la pollution décentralisé où une région choisie les permis alors que l'autre choisie la taxe, le bien-être total de cette dernière est plus grand si le choc est élevé et il est plus petit si le choc est faible.

Si la tarification du carbone est la même sur l'ensemble du territoire de la fédération, la nature du choc aura un impact sur le bien-être de celle-ci, de la même façon que lorsqu'une seule région utilisait l'instrument en question. En présence d'une fédération imposant un système d'échange de droits de pollution, le bien-être total sera supérieur qu'initialement si le choc est élevé et il sera inférieur si le choc est faible. Enfin, si la fédération priorise le choix de la taxe comme instrument, son bien-être total sera très élevé en expansion économique tandis que, dans le cas contraire, il sera très faible. Dénnotant le bien-être de la fédération décentralisée  $W_{PT}(\theta)$ , celui de la fédération centralisée avec permis  $W_{PP}(\theta)$  et celui de la fédération centralisée avec la taxe  $W_{TT}(\theta)$ , chacun dépendant du choc économique, nous avons l'expression suivante, avec  $0 < q < 1$  :

$$W_{TT}(\theta^L) < W_{PT}(\theta^L) < W_{PP}(\theta^L) < W_{PP}(\theta^H) < W_{PT}(\theta^H) < W_{TT}(\theta^H). \quad (3.3)$$

**Proposition 2.** *Lorsque les régions sont identiques et que la migration entre les*

*région n'est pas possible, nous remarquons qu'encore une fois, pour une fédération, réglementer la pollution de façon décentralisée est une situation intermédiaire à celles où elle impose un instrument unique pour la contrôler. De plus, que ce soit une décision régionale ou fédérale, utiliser la taxe comme instrument apporte une plus grande fluctuation des émissions de GES et de bien-être qu'un système de plafonnement et d'échange.*<sup>2</sup>

Tableau 3.2: Matrice de bien-être des régions

		Région 2	
		permis	taxe
Région 1	permis	$W_{PP}^1, W_{PP}^2$	$W_{PT}^1, W_{PT}^2$
	taxe	$W_{TP}^1, W_{TP}^2$	$W_{TT}^1, W_{TT}^2$

Le tableau 3.2 représente une matrice de bien-être pour les différentes juridictions, dépendamment de l'instrument choisi pour chaque région. Comme les régions sont identiques,  $W_{TP}^1 = W_{PT}^1$  et  $W_{TP}^2 = W_{PT}^2$ . Pour que l'équilibre de Nash se retrouve dans le cas d'une économie décentralisée, les deux conditions suivantes doivent nécessairement être respectées :  $W_{TP}^1 > W_{PP}^1$  et  $W_{TP}^2 > W_{TT}^2$  si la région 1 utilise la taxe et la région 2, les permis ou que  $W_{PT}^1 > W_{TT}^1$  et  $W_{PT}^2 > W_{PP}^2$  lorsque la région 1 utilise les permis et la région 2 utilise la taxe. En observant l'équation 3.3, il est possible de comparer les niveau de bien-être entre eux, selon la réalisation du choc économique. Si l'économie fait face à un choc élevé, la condition  $W_{PT}^2 > W_{PP}^2$  est respectée, mais  $W_{PT}^1 > W_{TT}^1$  ne tient pas. Si le choc est faible,  $W_{PT}^1 > W_{TT}^1$  est vraie mais, cette fois, l'affirmation  $W_{PT}^1 > W_{TT}^1$  est fausse. De

---

2. Les preuves sont présentées dans l'annexe A

plus, comme les régions sont identiques, les résultats demeurent les mêmes si les régions changent d'instruments. Bref, à ce point, il est impossible de conclure sur l'équilibre de Nash.

### 3.2 Migration

La migration sera ajoutée à ce modèle pour le rendre plus réaliste et pour mieux représenter la situation canadienne. L'analyse sera effectuée par l'ajout d'une migration non anticipée au modèle, c'est-à-dire que les gouvernements ne la prendront pas en compte lorsqu'ils choisiront l'instrument à utiliser, ce qui simplifie le modèle et l'analyse. La région 1 utilisera un système de permis échangeables pour tarifier le carbone alors que la région 2 utilisera une taxe. La migration inclue l'hypothèse de la mobilité parfaite des travailleurs entre les juridictions. Dès lors, il faut considérer une nouvelle équation au modèle, soit la condition d'équilibre de la migration :

$$u_1 = u_2$$

$$b(x_1) + y_1 = b(x_2) + y_2 \tag{3.4}$$

Soulignons également un changement dans la contrainte de population. Précédemment, la population de chaque région était fixée à  $n_i$  où  $n_i = n_{xi} + n_{yi}$ . Avec l'arrivée de la migration dans le modèle, la population d'une région sera toujours dénotée  $n_i$ . Cependant, nous nous intéresserons davantage à la population de la fédération, qui elle, sera représentée par l'équation suivante :

$$N = n_{x1} + n_{y1} + n_{x2} + n_{y2}.$$

Précédemment, nous avons vu que lorsqu'une région utilise un système de plafonnement et d'échange sans migration, le choc se répercute sur le prix des permis échangeables, les salaires et la quantité de bien propre. Toutefois, dans la région où la taxe est l'instrument utilisé, un choc amène une variation des salaires et un transfert des travailleurs d'un secteur à l'autre. En ajoutant la migration, de nouveaux aspects se greffent aux précédents. En présence d'une expansion économique,  $pX_2 + Y_2 > pX_1 + Y_1$ . Cela signifie que l'utilité des agents dans la région 2 est supérieure à celle de la région 1. De plus, bien que  $w_2$  ait diminué par l'arrivée des nouveaux travailleurs,  $G_2$  augmente car il y a plus de biens polluants produits. Par ailleurs, il n'augmente pas aussi vite que la population, alors  $g_2$  diminue. En outre, la hausse de  $X_2$  implique que  $p$  diminue. En d'autres termes, cela signifie que le pouvoir d'achat de la région 2 sera supérieur à celui de l'autre juridiction. Il y aura donc migration de la population de la région 1 vers la région 2 et ce, dans les deux secteurs d'activité. Cet exode vers la région 2 fait baisser l'utilité per capita et la migration persistera jusqu'à ce que l'utilité de l'agent soit de nouveau égale entre les régions. Les salaires d'équilibre seront plus élevés dans la région 1 et plus faibles dans la région 2 qu'avant l'avènement du choc puisqu'il y a plus de travailleurs dans cette dernière.

Le nombre de travailleurs dans chaque région aura aussi changé par rapport au niveau initial :  $n_{x2}^{HAM} > n_{x1}^{HAM}$  et  $n_{y2}^{HAM} > n_{y1}^{HAM}$ .<sup>3</sup> Plus généralement, le niveau de population de la région 1 sera plus faible que celui de la région 2 en présence d'un choc élevé sur l'économie. Si nous comparons ces résultats avec ceux obtenus sans

---

3. Notez que l'exposant *HAM* correspond aux résultats avec migration en présence d'un choc élevé alors que l'exposant *HSM* représente les résultats sans migration lors d'un choc élevé.

migration, nous avons évidemment que  $n_2^{HAM} > n_2^{HSM}$  et que  $n_1^{HAM} < n_1^{HSM}$ . De plus,  $n_{x1}^{HAM} < n_{x1}^{HSM}$  et  $n_{y1}^{HAM} < n_{y1}^{HSM}$  puisque la population dans la région 1 reste constante lorsqu'il n'y a pas de migration alors que les travailleurs des deux secteurs migrent vers la région 2 lorsque c'est possible. Pour la région 2, nous avons  $n_{x2}^{HAM} > n_{x2}^{HSM}$  et  $n_{y2}^{HAM} > n_{y2}^{HSM}$ . Lorsque l'on est en présence de  $\theta^L$ , le phénomène inverse se produit. La population de la région 2 migre vers la région 1 car le niveau d'utilité  $y$  est plus élevé.

Pour ce qui est des émissions, étant donné qu'elles sont linéairement proportionnelles au niveau de production, il faut vérifier comment se comporte la production en présence de migration. Lors d'un choc de nature élevée sur l'économie,  $n_{x2}^{HAM} > n_{x1}^{HAM}$  et  $n_{y2}^{HAM} > n_{y1}^{HAM}$ . Comme il y a plus de travailleurs dans la région 2 et que la productivité marginale du travail est plus grande qu'ex ante, la production des deux types de bien de cette région est supérieure à celle de la région 1. Il y a donc plus d'émissions produites dans la région avec la taxe lorsque l'on est en présence d'un choc élevé. Le contraire est vrai lorsqu'il y a la présence d'un choc faible. Un sommaire des résultats est présenté dans le tableau 3.3.

Il est intéressant de remarquer qu'en ajoutant la migration, les variations sont amplifiées en présence d'une taxe et cela fait en sorte que les résultats sous l'instrument-quantité deviennent plus variables également.

### 3.3 Régions asymétriques

Puisque le but de cet exercice est d'illustrer le mieux possible la situation canadienne, l'hypothèse qui supposait des régions identiques sera retirée. Les régions seront différentes seulement pour ce qui est de la productivité du secteur polluant.

Tableau 3.3: Comparaison des variables sans migration et avec migration en présence d'un choc exogène

Variabes	Choc exogène élevé $\theta^H$	Choc exogène faible $\theta^L$
$x$	$x_1^{AM} < x_1^{SM} < x_2^{SM} < x_2^{AM}$	$x_1^{AM} > x_1^{SM} > x_2^{SM} > x_2^{AM}$
$y$	$y_1^{AM} < y_2^{SM} < y_1^{SM} < y_2^{AM}$	$y_1^{AM} > y_2^{SM} > y_1^{SM} > y_2^{AM}$
$n_x$	$n_{x1}^{AM} < n_{x1}^{SM} < n_{x2}^{SM} < n_{x2}^{AM}$	$n_{x1}^{AM} > n_{x1}^{SM} > n_{x2}^{SM} > n_{x2}^{AM}$
$n_y$	$n_{y1}^{AM} < n_{y2}^{SM} < n_{y1}^{SM} < n_{y2}^{AM}$	$n_{y1}^{AM} > n_{y2}^{SM} > n_{y1}^{SM} > n_{y2}^{AM}$
$\delta, t$	$\delta_1^{AM} < \delta_1^{SM} = t$	$\delta_1^{AM} > \delta_1^{SM} = t$
$w$	$w_1^{SM} < w_1^{AM} < w_2^{AM} < w_2^{SM}$	$w_1^{AM} > w_1^{SM} > w_2^{SM} > w_2^{AM}$

Par conséquent, la région 1 sera moins productive que la région 2 dans la production du bien  $x$  :  $F_{nx2}(n_x, \theta) > F_{nx1}(n_x, \theta)$ . Il faut alors comparer de nouveau la situation sans migration avec celle permettant la migration lorsque les régions sont asymétriques. Pour cette raison, plusieurs cas seront étudiés. Il y aura le cas décentralisé où la région plus productive utilise la taxe comme instrument alors que l'autre région choisit les permis. Il y aura aussi le scénario inverse où la région plus productive utilisera le système de permis échangeables et la région moins productive, la taxe sur le carbone. Ensuite, il faudra examiner les cas centralisés où les deux régions appliquent la taxe et où les deux régions utilisent les permis. Enfin, ces quatre situations seront comparées lorsqu'il n'y a pas de possibilité d'exode des travailleurs entre les juridictions et dans la situation où la migration est présente. Après que tous ces scénarios auront été étudiés, il sera plus facile de savoir sous quelles conditions un gouvernement régional ou fédéral préférera un instrument plutôt qu'un autre pour tarifier les émissions de gaz à effets de serre.

Dans un premier temps, si la région ayant une plus grande productivité est celle qui

utilise la taxe comme instrument, un choc élevé augmentera la productivité dans le secteur polluant entraînant la production du bien  $X$  à la hausse. Ce choc permet également une hausse de la production dans le secteur propre. Les travailleurs doivent néanmoins se diriger vers ce dernier pour que cela soit réalisable. Ceci causera une diminution du salaire dans le secteur propre, ce qui impliquera une baisse de  $w_x$  car les salaires doivent être égaux au final. Ce phénomène sera plus important dans la région 1 car la quantité produite de  $X_1$  est fixe. Dans la seconde région, il y aura davantage des deux types de biens et par conséquent, la production du bien polluant dans la région 2 sera plus élevée que celle dans la région 1. Bref, en présence d'un choc élevé, les émissions dans la fédération augmentent alors que, lors d'un choc faible, le niveau d'émission total dans la fédération sera plus bas.

En revanche, si la migration est permise entre les régions et qu'il y a un choc élevé, l'utilité dans la seconde région sera supérieure car ses habitants auront un plus grand pouvoir d'achat : les transferts forfaitaires auront haussés davantage que la réduction des salaires de cette région et le prix du bien polluant sera plus faible grâce à la hausse de  $X$ . Les agents consommeront donc une plus grande quantité de chaque bien. Ceci étant dit, une partie de la population de la région 1 se relocalisera dans la région 2 pour pouvoir profiter de cette plus grande utilité. Cela se poursuivra jusqu'à ce que l'égalité entre les niveaux d'utilité soit rétablie. Cela fera en sorte que les salaires dans la région 1 augmenteront légèrement alors que ceux de la région 2 continueront de baisser. En somme, il y aura plus d'émission au total dans ce cas-ci que dans le cas où la migration n'était pas possible et les revenus d'équilibre seront plus faibles qu'ex ante.



Dans le cas contraire, si la région bénéficiant d'une productivité supérieure utilise plutôt un système de droits de pollution au lieu d'une taxe comme instrument, les résultats seront différents. En effet, une expansion économique affectera la productivité marginale des deux secteurs polluants à la hausse, ce qui aura un impact négatif sur le nombre de travailleurs dans le secteur polluant de la région productive puisque la quantité de ce bien est fixe. Ces travailleurs changeront de secteur pour celui du bien propre. Dans la région utilisant la taxe, le nombre de travailleurs du secteur sale diminuera aux dépens du secteur propre car le choc élevé permet de produire davantage des deux biens. Par conséquent, il y aura une plus grande production de bien polluant dans la juridiction utilisant la taxe. Sans migration, l'analyse se termine par une hausse du prix des permis dans la région ayant favorisé ceux-ci. Il y aura une baisse du prix du bien sale accompagnée d'une hausse de la quantité consommée de ce même bien dans la région ayant choisi la taxe.

Or, si le transfert de population inter-régional est possible, plusieurs habitants de la région 1 migreront vers la région 2. Ce processus persistera jusqu'au retour de l'égalité des utilités. Encore une fois,  $X_2 > X_1$  et  $Y_2 > Y_1$  lorsqu'il y a migration.

Si le choc est faible, la hausse de production de  $Y$  dans la région plus productive entraînera une migration des travailleurs vers cette région. À l'équilibre, elle aura davantage de travailleurs dans son secteur propre, donc produira davantage de bien propre, de bien polluant et de pollution que la région 2. Si l'on compare ce scénario au scénario similaire où il n'y a pas de migration, on constate qu'il y a moins d'émissions produites lorsque celle-ci est possible car la migration se fait vers la région utilisant les permis. Enfin, la production d'émissions de carbone sera

plus élevée dans la première région même si cette dernière est moins productive.

Ensuite, il y a la situation où le système est centralisé, ce qui signifie que les deux régions utilisent le même instrument, en l'occurrence les permis et la région 2 étant plus productive. En présence d'un choc élevé, la productivité marginale du secteur polluant sera touchée positivement dans les deux régions. La production de  $X$  doit demeurer fixe alors les travailleurs iront dans l'autre secteur, ce qui diminuera la productivité de celui-ci et donc le salaire. Sans migration possible, l'équilibre des marchés se traduit par une baisse des salaires sous le niveau initial, une hausse du prix des permis qui mène ensuite à une hausse des transferts gouvernementaux  $g_i$  et une hausse de la consommation de  $y$  dans les deux régions. La consommation de  $x$  ainsi que son prix demeurent stables.

Si la migration est permise, comme les deux régions utilisent le même instrument, ce qui fait en sorte que les variables réagissent de la même façon au choc, la région plus productive produira la même quantité de bien polluant que l'autre région puisque cette quantité est contrainte. Toutefois, comme elle est plus productive, elle aura besoin de moins de travailleurs pour produire cette quantité, et ceux-ci se retrouveront dans le secteur propre, permettant ainsi une plus grande production de  $Y_2$ . Cela fera en sorte que l'utilité des consommateurs sera plus importante que dans l'autre région. Une partie des habitants de cette dernière migrera vers la région 2. Comme ces travailleurs ne peuvent pas se rendre dans le secteur polluant à cause de la contrainte imposée par les droits de pollution, ils se retrouveront tous dans le secteur  $y$ , ce qui fera augmenter considérablement sa production. À l'équilibre, comme la production du bien polluant est constante, il y aura le même nombre d'émission dans les deux régions peu importe la nature du choc.

Enfin, le système centralisé peut préférer une taxe sur l'ensemble de son territoire. De façon générale, la production de la région 1 sera inférieure à celle de la région 2 étant donné que cette dernière est plus productive dans le bien polluant. Les travailleurs de la première juridiction se déplaceront alors vers cette région où les habitants bénéficient d'un niveau d'utilité supérieur. Ce scénario produira plus d'émissions de GES que si les permis étaient utilisés. Toutefois, si un choc faible survient, le contraire s'applique et ce scénario génèrera moins d'émissions polluantes que son antipode.

Par ailleurs, si la migration est ajoutée en présence d'un choc élevé sur l'économie, il y aura un mouvement des travailleurs des deux secteurs de la région 1 vers la région 2 et ce, jusqu'à ce que les niveaux d'utilité soient égaux dans les deux régions. La production de bien polluant sera plus élevée dans la deuxième région. Lorsque le choc est faible, le même phénomène se produit. Les travailleurs de la région 1 migreront vers l'autre région pour bénéficier de cet écart entre les niveaux de production et donc d'utilité. À l'équilibre, il y aura plus de travailleurs dans la région 2 et les revenus seront plus élevés dans la région 1 et plus faibles dans la région 2 qu'avant la migration.

Après avoir analysé tous ces scénarios, il est plus facile de déterminer quel instrument utiliser dans quel contexte. Il suffit de regarder le bien-être de chaque région étant donné le scénario en place.

Pour trouver l'équilibre de Nash, il faut classer les différentes possibilités de bien-être des régions selon le choix de l'instrument lorsque les régions sont asymétriques et que la migration est possible. Pour ce faire, il faut analyser le bien-être des consommateurs par rapport à leur fonction d'utilité indirecte  $v_i [w_i(\theta), p_i(\theta), g_i(\theta)]$ .

Tableau 3.4: Matrice de bien-être des régions avec migration et régions asymétriques

		Région 2	
		permis	taxe
Région 1	permis	$W_{PP}^1, W_{PP}^2$	$W_{PT}^1, W_{PT}^2$
	taxe	$W_{TP}^1, W_{TP}^2$	$W_{TT}^1, W_{TT}^2$

Le bien-être de la population lorsque le système est centralisé et que ce sont les permis qui sont utilisés pour contrôler la pollution est assez stable pour les deux régions. Les salaires diminuent mais les transferts forfaitaires des recettes de la vente de permis augmentent davantage. Cependant, le prix du bien polluant ne varie pas. En somme, le bien-être des deux régions augmentent lorsque le choc est élevé et diminuent lorsque le choc est faible, comme c'était le cas lorsque les régions étaient identiques. Pour ce qui est du système centralisé avec une taxe, les revenus varient avec le choc économique alors que le prix du bien polluant varie dans le sens opposé à ce dernier. En présence d'un choc élevé, le bien-être de la population sera plus élevé lorsqu'il y a une taxe que lorsque que le système de permis est en place. Il sera moins élevé avec la taxe si le choc est faible.

Si le système est décentralisé et que la taxe est utilisée par la région plus productive, les salaires seront plus élevés qu'ex ante lorsque le choc est élevé et le prix du bien  $x$  sera plus bas. Par conséquent, le bien-être sera supérieur dans ce cas-ci en comparaison avec un système décentralisé où les permis échangeables sont favorisés par la région plus productive. Si le choc est faible, le bien-être total

sera supérieur lorsque la région plus productive utilise les droits de pollution.

$$\begin{aligned}
 W_{TT}(\theta^L) &< W_{PT}(\theta^L) < W_{TP}(\theta^L) < W_{PP}(\theta^L) < \\
 W_{PP}(\theta^H) &< W_{TP}(\theta^H) < W_{PT}(\theta^H) < W_{TT}(\theta^H).
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

**Proposition 3.** *En incluant les hypothèses de migration et de régions asymétriques et en combinant le tableau 3.4 et l'équation 3.3, un système centralisé avec une taxe sur le carbone comme instrument donne un bien-être supérieur en présence d'un choc économique élevé alors que le scénario opposé, soit un système centralisé favorisant un système de plafonnement et d'échange fait mieux dans le cas d'un choc faible. Néanmoins, le système décentralisé est un juste milieu entre les deux dernières situations, quoiqu'en espérance, nous ne pouvons pas conclure sur l'équilibre de Nash.*<sup>4</sup>

---

4. Les preuves sont présentées dans l'annexe A

## CHAPITRE IV

### ANALYSE NUMÉRIQUE

Une analyse numérique du modèle a été effectuée afin de mieux comprendre les résultats et comparer les scénarios possibles entre eux. Dans un premier temps, la méthodologie ainsi que les fonctions et paramètres utilisés seront présentés et par la suite, les différents scénarios et leurs résultats seront expliqués. Enfin, une analyse de sensibilité de certains paramètres sera réalisée à la fin de ce chapitre.

#### 4.1 Méthodologie

Les simulations présentées dans ce chapitre ont été réalisées avec le solveur Knitro utilisé dans l'environnement du logiciel de modélisation Matlab. Grâce à ses algorithmes, les problèmes de maximisation du modèle ont pu être résolus malgré de nombreuses contraintes linéaires et non-linéaires.

Pour pouvoir comparer les différentes situations possibles entre elles, des formes fonctionnelles respectant les hypothèses du modèle ont été choisies pour les fonctions de production de chaque bien et pour la fonction d'utilité de l'agent représentatif. Les fonctions de production des deux biens sont de la forme Cobb-Douglas.

Celle du bien polluant correspond à ceci :

$$F(n_{xi}, \theta) = \theta \cdot n_{xi}^{\alpha} \quad (4.1)$$

et celle du bien propre est représentée par :

$$F(n_{yi}) = n_{yi}^{\beta} \quad (4.2)$$

Pour ce qui est de la fonction d'utilité de l'agent représentatif, elle a été illustrée par la forme fonctionnelle suivante :

$$u(x_i, y_i) = \ln(x_i) + y_i. \quad (4.3)$$

Elle est de forme quasi-linéaire dans le bien propre comme énoncé précédemment dans la description du modèle.

Tableau 4.1: Valeurs de départ des paramètres du modèle

Paramètres	Valeurs de départ
$\alpha$	0,5
$\beta$	0,5
$\theta$	1
$\theta^H$	1,5
$\theta^L$	0,5
$N$	10
$B$	0,5

Le tableau 4.1 indique les valeurs choisies pour les paramètres. Pour commen-

cer, ces choix ont été fait dans le but de respecter les hypothèses du modèle. Par exemple, pour les paramètres d'élasticité du travail,  $\alpha$  et  $\beta$ , nous avons choisi 0,5 dans les deux cas car, afin de respecter les hypothèses des fonctions de production, ceux-ci devaient être compris entre zéro et un. Quant au choc exogène,  $\theta$ , la valeur élevée sera de 1,5, ce qui augmente la productivité marginale du travail du secteur polluant alors que la valeur faible sera de 0,5, ce qui ralentit cette dernière. En l'absence de choc,  $\theta$  prend la valeur de 1 et ainsi, n'a aucun effet sur les fonctions de production et leur conditions de premier ordre. La population a été répartie en parts égales pour commencer, soit de cinq unités dans chaque région afin d'avoir suffisamment de population pour résoudre tous les problèmes d'optimisation du modèle. Enfin, le facteur de réduction des émissions de GES a été fixé à 0,5 de sorte que l'objectif de réduction des GES soit suffisamment contraignant pour obtenir des résultats plus facile à interpréter. Dans une section subséquente, une analyse de sensibilité sera réalisée afin de nous éclairer sur l'impact de certains paramètres sur les résultats obtenus.

## 4.2 Scénarios et résultats

Plusieurs scénarios ont été testés pour bien analyser l'impact du choix de l'instrument utilisé dans la tarification du carbone ainsi que l'effet d'un choc économique sur le bien-être des régions. Les résultats d'un système décentralisé avec des régions identiques, avec des droits de pollution pour l'une et une taxe sur le carbone pour l'autre sont illustrés dans le tableau 4.2.

Puisque les régions sont identiques, lorsqu'il n'y a pas d'incertitude sur la conjonc-



Tableau 4.2: Résultats : système décentralisé avec régions identiques

Instrument	Variables	Aucun choc	$\theta^H$	$\theta^L$	Espérance
Permis	$X_1$	1,0333	1,0333	1,0333	1,0333
Permis	$W_1$	-5,9006	-5,7563	-7,0295	-6,3929
Taxe	$X_2$	1,0333	1,0991	0,7911	0,9451
Taxe	$W_2$	-5,9006	-5,4622	-7,6389	-6,5501

ture économique, les deux instruments sont équivalents en matière d'émissions de carbone et de bien-être régional. La dernière colonne du tableau présente l'espérance des émissions produites et du bien-être dans chaque région. Bien que les émissions moyennes de la région 1 soient supérieures à celles de la région 2 et que cette dernière souffre d'un bien-être moyen inférieur comparativement à l'autre région, les deux scénarios sont en moyenne assez similaires. En outre, peu importe la nature du choc, le nombre d'émission reste invariable dans la région 1 étant donnée la contrainte imposée par l'utilisation du système de permis échangeables. Cette quantité est égale aux émissions produites lorsqu'il n'y a pas de politiques environnementales multipliées par le facteur de réduction  $B$ . Or, dans la région 2 où la taxe est choisie, les émissions produites augmentent lors d'une expansion et diminuent en présence d'un ralentissement économique. Il y a également une plus grande fluctuation du bien-être régional avec l'utilisation de l'instrument-prix. En somme, la taxe donne un bien-être plus élevé si l'économie fait face à un choc élevé alors que les permis font mieux lorsqu'un choc faible survient. Notons aussi que l'utilisation de la taxe mène à plus de variation des variables d'intérêt qu'un système de plafonnement et d'échange.

Avec un gouvernement fédéral décidant plutôt d'imposer une politique unique

Tableau 4.3: Résultats : systèmes centralisés avec régions identiques

Instrument	Variables	Aucun choc	$\theta^H$	$\theta^L$	Espérance
Permis	$X_F$	2,0665	2,0665	2,0665	2,0665
Permis	$W_F$	-11,8011	-11,5125	-14,0590	-12,7858
Taxe	$X_F$	2,0665	2,1982	1,5822	1,8902
Taxe	$W_F$	-11,8011	-10,9243	-15,2778	-13,1011
Permis et Taxe	$X_1 + X_2$	2,0665	2,1384	1,8244	1,9814
Permis et Taxe	$W_1 + W_2$	-11,8011	-11,2185	-14,6684	-12,9435

sur l'ensemble de son territoire, les résultats varient légèrement. Le tableau 4.3 les présente afin de les comparer au système précédent. Sans choc économique, il n'y a aucune distinction entre les trois scénarios étant donné que les régions sont identiques. De plus, la production du bien sale est constante en présence d'un instrument quantité pour toutes les valeurs de  $\theta$  tandis qu'elle varie dans le même sens que celui-ci lorsque l'instrument-prix est choisi. Le bien-être total moyen est supérieur lorsque la fédération favorise les permis à la taxe alors que celui du système décentralisé se retrouve entre les deux. En résumé, le système décentralisé représente une situation intermédiaire entre les systèmes centralisés pour ce qui est des émissions et du bien-être.

Pour mieux comprendre l'influence qu'ont les hypothèses dans ce modèle, ces dernières situations peuvent être étudiées lorsque les travailleurs ont la possibilité de migrer entre les régions. Les résultats présentés dans le tableau 4.4 illustrent un système décentralisé ayant une région utilisant des droits de pollution et l'autre région préférant une taxe sur le carbone et inclut également les deux types de système centralisé vu précédemment. Notons que ces scénarios représentent une

migration qui n'a pas été anticipée par les autorités lorsque celles-ci ont fait leur choix d'instrument. Quelques différences sont à souligner.

Tableau 4.4: Résultats : systèmes décentralisé et centralisés avec migration

Scénarios	Variables	Aucun choc	$\theta^H$	$\theta^L$	Espérance
Région 1 (Permis)	$X_1$	0,6848	0,5428	0,7496	0,6462
Région 2 (Taxe)	$X_2$	2,0410	3,5139	0,8418	2,1779
Décentralisé	$W_1 + W_2$	-10,2840	-7,0790	-15,2554	-11,1672
Région 1 (Permis)	$X_1$	2,0665	2,0665	2,0665	2,0665
Région 2 (Permis)	$X_2$	2,0665	2,0665	2,0665	2,0665
Centralisé (Permis)	$W_F$	-11,8011	-11,5125	-14,0590	-12,7858
Région 1 (Taxe)	$X_1$	2,0665	2,1982	1,5822	1,8902
Région 2 (Taxe)	$X_2$	2,0665	2,1982	1,5822	1,8902
Centralisé (Taxe)	$W_F$	-11,8011	-10,9243	-15,2778	-13,1011

Tout d'abord, il est important de constater que dans aucune des possibilités conjoncturelles la totalité des permis à la disposition du secteur polluant est utilisée dans le cas d'un système décentralisé. Le nombre de droits de pollution par région est de 1,0333 avec les paramètres actuels. Or, la région 1 émet au maximum 0,75 tonne d'émissions, tout scénario confondu. Ceci indique que la contrainte de production d'émissions n'est pas mordante. Autrement dit,  $B$  est trop grand. Dans la prochaine section, une analyse de sensibilité pour ce paramètre sera effectuée.

Il faut également noter que l'équilibre du scénario sans choc n'est plus équivalent entre les régions. Ceci s'explique par le fait que la migration n'a pas été anticipée par les gouvernements régionaux avant de choisir leur instrument. Par ailleurs, nous remarquons que le bien-être total est nettement supérieur lorsque la popula-

tion a la possibilité de migrer entre les juridictions. Ensuite, lorsque survient un choc élevé, une grande partie de la population de la région 1 préfère se diriger vers l'autre région car l'utilité y est plus élevée. Ainsi, les émissions diminuent grandement dans la première région alors qu'ils haussent dans la seconde. Par contre, les résultats sont différents lorsqu'un ralentissement économique prend place. Il y a une baisse des émissions produites étant donné que la population de la deuxième région s'installe dans l'autre région mais il y a surtout une baisse du bien-être total en comparaison avec le scénario où la migration n'est pas permise. En observant la dernière colonne, nous remarquons que pour la première fois, le bien-être total moyen du système décentralisé est supérieur à toutes les autres valeurs recueillies jusqu'à maintenant.

En s'attardant aux systèmes centralisés, c'est sans surprise que nous constatons que les émissions sont stables sur l'ensemble du territoire lorsque la fédération choisit les droits de pollution comme instrument de tarification du carbone peu importe la nature du choc économique. Évidemment, elles ne changent pas en ajoutant la migration. Contrairement au cas décentralisé, le bien-être total du scénario avec et sans exode des travailleurs reste constant. Cette remarque est également vraie pour le système centralisé priorisant la taxation. Ceci s'explique par le fait que, comme les deux régions sont identiques et qu'elles utilisent la même politique pour réduire la pollution, il n'y a aucun avantage à migrer d'une juridiction à l'autre pour les habitants. Ces derniers vont simplement se déplacer entre les secteurs selon la conjoncture économique.

La figure 4.1 représente les résultats obtenus pour un système décentralisé où une région utilise des permis échangeables et l'autre une taxe sur le carbone. Les deux

graphiques du haut illustrent les résultats sans migration alors que ceux du bas montrent les résultats avec migration.

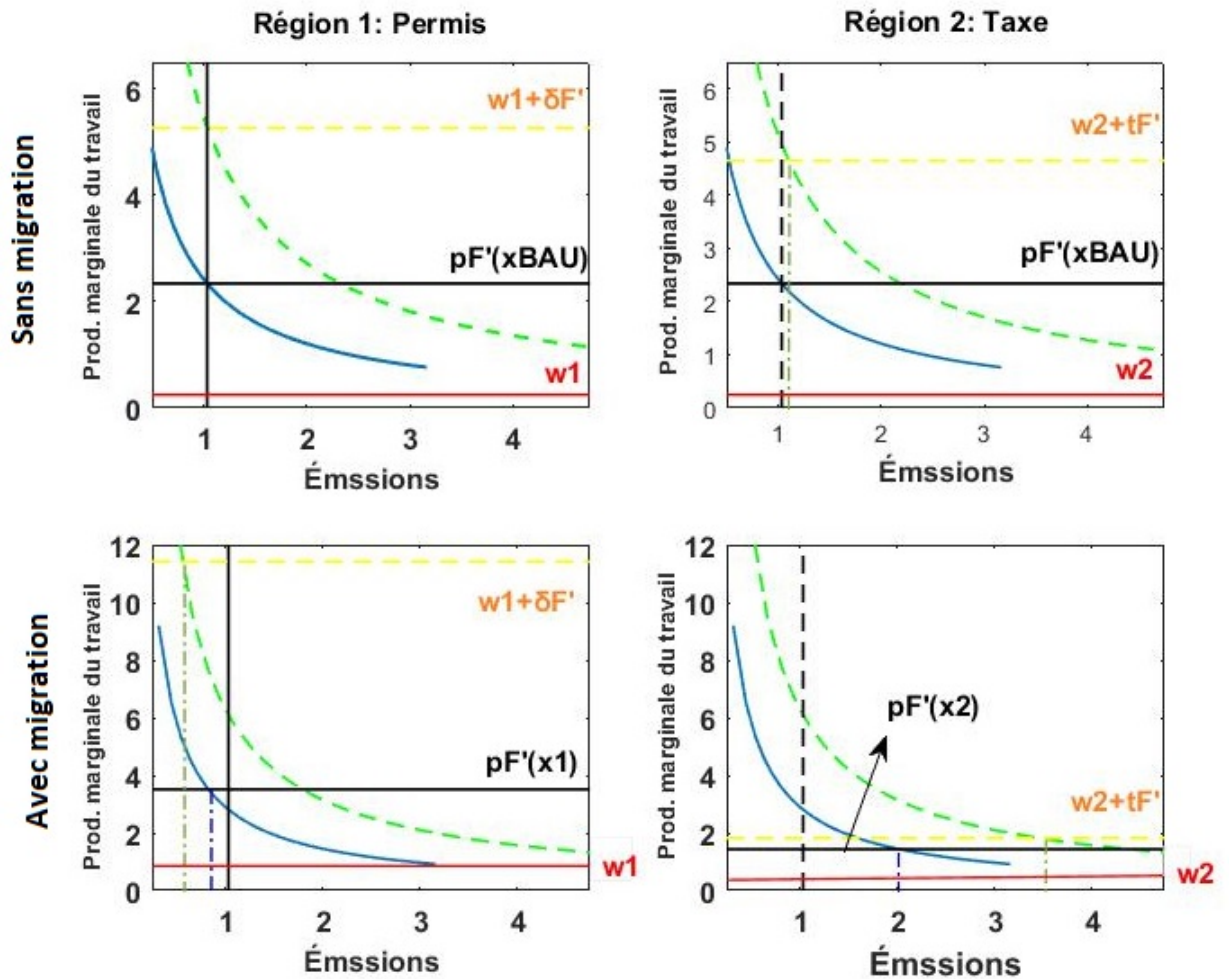


FIGURE 4.1: Résultats du système décentralisé lors d'un choc élevé

Dans les quatre graphiques, la courbe bleue pleine représente la fonction de la valeur de la productivité marginale du travail lorsqu'il n'y a pas de choc alors que la courbe verte pointillée correspond à cette même fonction lorsqu'il y a un choc élevé sur l'économie. Les droites rouges représentent les salaires dans chaque région, avant l'avènement du choc. Comme la figure le démontre bien, il n'y a pas

de différence entre les deux régions lorsqu'il n'y a pas de choc et de migration. Dans le premier graphique, nous remarquons que la contrainte est mordante peu importe le choc et que la production de bien polluant atteint le maximum permis, soit 1,03. Ce niveau n'est pas atteint lorsqu'il y a possibilité de migration. Le second graphique illustre que la production de  $X_2$  augmente légèrement lors d'un choc élevé. Avec la migration, cette quantité augmente encore davantage. Enfin, il est intéressant de remarquer que les salaires entre les régions sont égaux alors qu'ils ne le sont pas nécessairement lorsqu'il est possible de migrer d'une juridiction à l'autre. Les résultats pour le choc faible sont présentés dans la figure B.1 en annexe.

Une autre hypothèse forte doit être relâchée afin de mieux représenter la situation canadienne actuelle. Il s'agit de l'hypothèse stipulant que les régions sont identiques. Afin de les rendre asymétriques, il y aura l'ajout d'un nouveau paramètre touchant la productivité marginale du travail d'une seule région.

Le tableau 4.5 présente les émissions de GES au Canada entre 2005 et 2015 pour les deux régions ayant déjà une tarification du carbone. La dernière colonne indique le ratio entre les émissions de l'Alberta et de la Colombie-Britannique sur celles du Québec et de l'Ontario.

La région qui utilise un système de plafonnement et d'échange sera illustrée par le Québec et l'Ontario. Cette région aura un secteur polluant plus petit puisque ces provinces produisent tout juste 34 % des émissions de gaz à effet de serre. La seconde région, soit celle qui utilise une taxe comme instrument, sera caractérisée par la Colombie-Britannique et l'Alberta qui génèrent à eux seuls 46 % des émissions de carbone. Cette région sera plus productive dans le secteur pol-

Tableau 4.5: Émissions de GES au Canada

Années	Québec et Ontario	Alberta et C.-Britannique	AL+CB/QC+ON
2005	293 252	296 684	1,012
2006	282 831	300 697	1,063
2007	288 378	310 308	1,076
2008	277 164	305 192	1,101
2009	252 743	292 987	1,159
2010	257 505	300 424	1,167
2011	258 485	305 515	1,182
2012	252 497	320 754	1,270
2013	253 094	334 072	1,320
2014	248 514	336 880	1,356
2015	246 301	335 051	1,360

Source : Rapport d'inventaire national 1990-2015 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada

luant uniquement. En incluant seulement ces quatre provinces, le modèle englobe 85 % de la population (plus de 60 % des canadiens pour la première région et près de 25 % dans la seconde) et 80 % des émissions au Canada (Statistique Canada, 2016, 2017). L'asymétrie des régions consiste essentiellement en l'ajout d'un nouveau paramètre représentant une plus grande productivité totale du facteur travail (TPF). Nous avons choisi  $TPF = 1,36$  car c'est le résultat du ratio entre les émissions des deux régions de l'année 2015, soit l'année la plus récente dans les données disponibles. De plus, cette valeur a été priorisée à une valeur moyenne car depuis de nombreuses années, ce ratio a une forte tendance à la hausse et il nous paraissait plus pratique d'utiliser ce scénario plus réaliste.

Tableau 4.6: Résultats : systèmes décentralisés et centralisés avec migration et régions asymétriques

Scénarios	Variables	Aucun choc	$\theta^H$	$\theta^L$	Espérance
Région 1 (Permis)	$X_1$	0,5779	0,3777	0,7059	0,5418
<b>Région 2 (Taxe)</b>	$X_2$	2,2779	3,8938	0,9491	2,4215
Décentralisé	$W_1 + W_2$	-7,9412	-4,2176	-13,3324	-8,7750
Région 1 (Taxe)	$X_1$	2,0242	3,5076	0,7747	2,1412
<b>Région 2 (Permis)</b>	$X_2$	0,5098	0,4008	0,5974	0,4991
Décentralisé	$W_1 + W_2$	-10,2282	-7,0640	-14,9092	-10,9866
Région 1 (Permis)	$X_1$	1,0333	1,0333	1,0116	1,0225
<b>Région 2 (Permis)</b>	$X_2$	0,7598	0,7598	0,7598	0,7598
Centralisé	$W_1 + W_2$	-11,6816	-11,4620	-13,3302	-12,3961
Région 1 (Taxe)	$X_1$	0,8837	0,9107	0,7267	0,8187
<b>Région 2 (Taxe)</b>	$X_2$	1,3036	1,4257	0,9232	1,1745
Centralisé	$W_1 + W_2$	-9,5600	-8,5754	-13,3396	-10,9575

Le tableau 4.6 présente les émissions et le bien-être des différents scénarios possibles lorsque les régions sont distinctes. La région illustrée en caractère gras représente la région la plus productive dans la fédération. Premièrement, le phénomène voulant que la totalité des permis à la disposition du secteur polluant ne soit pas utilisée se reproduit dans ce scénario. Cette fois-ci, le système centralisé est aussi touché. Dans la région moins productive, cela se produit uniquement lorsque le choc est faible. Ceci signifie que ce dernier est trop important et donc que la contrainte n'est plus mordante. Cette singularité touche la région plus productive dans toutes les réalisations du choc. Outre cette particularité, il y a évidemment davantage de travailleurs et donc d'émissions produites dans la région plus pro-



ductive dans les autres scénarios. L'utilité plus élevée a attiré une partie de la population. Un autre fait intéressant réside dans la similitude entre les deux systèmes décentralisés. Bien que la région plus productive change d'instrument, il n'y a pas de différences considérables entre les résultats obtenus à part que le bien-être total moyen soit inférieur lorsque la région plus productive choisit la taxe sur le carbone.

Finalement, en espérance, les émissions produites dans la région utilisant la taxe sont significativement plus élevées que dans la région choisissant les permis. Par dessus tout, les niveaux de bien-être total sont toujours plus importants dans le cas des régions asymétriques.

En utilisant les niveaux de bien-être moyens pour trouver l'équilibre de Nash du tableau 3.4, nous obtenons le tableau 4.7 qui représente les résultats numériques de celui-ci.

Tableau 4.7: Matrice numérique de bien-être des régions avec migration et régions asymétriques

		Région 2	
		permis	taxe
Région 1	permis	-6,1981,-6,1981	-4,3875,-4,3875
	taxe	-5,4933,-5,4933	-5,4788,-5,4788

Pour la région 2, soit celle ayant un secteur polluant plus productif, choisir la taxe est une stratégie strictement dominante. Autrement dit, peu importe ce que choisit la région 1, elle est toujours avantagée en priorisant la taxe comme instrument. Quant à la région 1, si la seconde juridiction choisit un système de permis échangeables, elle a intérêt à prioriser une taxe sur le carbone alors que si la région 2

choisit plutôt l'instrument-prix, elle préférera les droits de pollution. L'équilibre de Nash consiste alors en un système décentralisé où la région 1 utilise un système de plafonnement et d'échange alors que la région 2 privilégie une taxe sur le carbone. Ce résultat obtenu par le modèle développé dans ce travail de recherche reflète fidèlement la réalité des politiques environnementales en place dans les provinces canadiennes.

### 4.3 Tests de sensibilité des paramètres

Pour mieux comprendre l'influence du choix des paramètres sur les résultats obtenus, une analyse de sensibilité sera effectuée sur certains d'entre eux. D'abord, l'effet du facteur de réduction des émissions sur les différents équilibres sera examiné, puis ce sera le tour de l'élasticité du travail de chacun des secteurs à être testée. Pour ce faire, le scénario utilisé sera celui du système décentralisé avec migration et régions identiques.

#### 4.3.1 Facteur de réduction des émissions ( $B$ )

D'entrée de jeu, il a été question de rendre plus réaliste la valeur de  $B$  puisque l'intention première de ce modèle est de représenter le mieux possible le contexte canadien actuel. Une valeur de 0,50 contraint de façon importante les émissions de GES produites. Par conséquent, la valeur testée sera 0,75 car l'objectif du gouvernement fédéral consiste en une réduction des GES de 30 % d'ici 2030 alors que, pour certains gouvernements provinciaux, l'objectif représente plutôt une baisse de 20 % des GES pour la même période. Ainsi,  $B = 0,75$  est une valeur entre les deux scénarios présents au Canada. Le tableau 4.8 représente les

résultats du test de sensibilité de  $B$ .

Tableau 4.8: Test de sensibilité du facteur de réduction des émissions ( $B$ )

$B$	Variables	Aucun choc	$\theta^H$	$\theta^L$
0,50	$X_1$	0,6848	0,5428	0,7496
0,50	$X_2$	2,0410	3,5139	0,8418
0,50	$W_1 + W_2$	-10,2841	-7,0791	-15,2554
0,75	$X_1$	1,4423	1,2546	0,9903
0,75	$X_2$	1,6801	2,9705	0,9088
0,75	$W_1 + W_2$	-8,4615	-5,5904	-14,2747

En modifiant  $B$  à la hausse, la contrainte des droits de pollution devient moins restrictive dans les réductions des émissions de GES. En d'autres mots, le nombre de permis émis augmentera. Avec  $B=0,50$ , il y avait un maximum de 1,0333 permis émis pour la région les utilisant, alors qu'avec  $B=0,75$ , le nombre de permis vendus par le gouvernement de la région 1 passe à 1,5499. Toutefois, le maximum n'est pas atteint quoique la production de  $X_1$  a considérablement haussée aux dépens de celle du bien propre. Par ailleurs, le niveau de la taxe est également influencé par le changement du paramètre  $B$ . Comme l'augmentation de ce dernier rend la réduction des émissions moins contraignante, la taxe diminue. Enfin, le bien-être est supérieur peu importe la nature du choc économique.

#### 4.3.2 Élasticité du travail ( $\alpha$ )

L'analyse de sensibilité sur l'élasticité du travail dans le secteur polluant est un choix intéressant pour mieux comprendre l'influence de ce paramètre sur la ré-

partition des travailleurs dans la fédération et sur le bien-être total en plus des différents impacts qu'il peut avoir sur les autres variables. Comme  $\alpha$  doit être compris entre zéro et un pour respecter les hypothèses du modèle, nous avons choisi de tester une valeur plus petite et plus grande que 0,50. La première sera 0,25 alors que l'autre sera 0,75.

Tableau 4.9: Test de sensibilité de l'élasticité du travail du secteur polluant ( $\alpha$ )

$\alpha$	Variables	Aucun choc	$\theta^H$	$\theta^L$
0,25	$X_1$	0,4757	0,3979	0,5394
0,25	$X_2$	1,1887	1,9915	0,5116
0,25	$Y_1$	2,0430	1,8754	1,9180
0,25	$Y_2$	1,9437	1,8361	1,9674
0,25	$W_1 + W_2$	-14,3687	-11,6100	-18,6450
0,50	$X_1$	0,6848	0,5428	0,7496
0,50	$X_2$	2,0410	3,5139	0,8418
0,50	$Y_1$	1,8750	1,7065	1,6354
0,50	$Y_2$	1,3600	1,2121	1,4978
0,50	$W_1 + W_2$	-10,2841	-7,0791	-15,2554
0,75	$X_1$	0,8764	0,3947	1,1049
0,75	$X_2$	3,7135	7,1112	1,3767
0,75	$Y_1$	1,5866	1,1421	1,3942
0,75	$Y_2$	0,9451	0,7502	1,1484
0,75	$W_1 + W_2$	-5,8394	-1,5958	-11,4219

Le tableau 4.9 démontre les résultats des productions des deux types de biens en plus du bien-être total. Le changement de l'élasticité du travail dans le secteur sale touche, en premier lieu, le niveau d'émissions produites sans réglementation.

En effet,  $X_i^{BAU}$  passe à 1,3457, 2,0665 et 3,1515 lorsque  $\alpha$  est de 0,25, 0,50 et 0,75 respectivement. Ceci affecte donc la contrainte des permis et le niveau de la taxe. Ce dernier diminue avec  $\alpha$ . Encore une fois, peu importe la nature du choc et la valeur du paramètre d'élasticité du travail dans le secteur polluant, la contrainte des permis n'est pas mordante. La production de  $X_1$  n'est jamais à pleine capacité. Ceci étant dit, lorsque  $\alpha=0,25$ , le nombre d'émission diminue dans les deux régions alors que la production de  $Y_i$  augmente. Le contraire se produit lorsque l'élasticité du travail hausse à 0,75. En effet, le secteur  $X_2$  devient plus profitable car la taxe est plutôt faible. En somme, le bien-être dans ce dernier scénario est de loin supérieur aux deux autres situations et ce, peu importe la nature du choc.

#### 4.3.3 Élasticité du travail ( $\beta$ )

Enfin, cette section se termine par l'analyse de sensibilité de l'élasticité du travail dans le secteur propre. De la même façon qu'il a été fait pour  $\alpha$ , les valeurs à évaluer de  $\beta$  seront de 0,25 et 0,75 pour capter les différents effets de ce paramètre sur les émissions produites, le bien-être total et les autres variables du modèle.

Finalement, le tableau 4.10 présente les résultats de l'analyse de sensibilité du paramètre  $\beta$ , soit l'élasticité du travail du secteur propre. Modifier ce dernier a avant tout un impact sur le niveau de la taxe, celle-ci diminuant avec  $\beta$ . La production de  $Y_i$  augmente lorsque  $\beta$  hausse et diminue dans le cas contraire et ce, dans les deux juridictions. Quant au bien polluant, il est sensiblement stable d'un scénario à l'autre, haussant légèrement dans la région 2 lorsque  $\beta$  passe à 0,75 et diminuant dans cette même région lorsque le paramètre descend à 0,25.

Tableau 4.10: Test de sensibilité de l'élasticité du travail du secteur polluant ( $\beta$ )

$\beta$	Variables	Aucun choc	$\theta^H$	$\theta^L$
0,25	$X_1$	0,8251	0,8775	0,6480
0,25	$X_2$	1,4925	2,3725	0,6764
0,25	$Y_1$	1,3540	1,2869	1,2054
0,25	$Y_2$	1,0494	0,9691	1,1449
0,25	$W_1 + W_2$	-10,4941	-7,2490	-15,0559
0,50	$X_1$	0,6848	0,5428	0,7496
0,50	$X_2$	2,0410	3,5139	0,8418
0,50	$Y_1$	1,8750	1,7065	1,6354
0,50	$Y_2$	1,3600	1,2121	1,4978
0,50	$W_1 + W_2$	-10,2841	-7,0791	-15,2554
0,75	$X_1$	0,6286	0,3947	0,7847
0,75	$X_2$	2,3041	4,4181	0,9444
0,75	$Y_1$	2,6680	2,3612	2,3406
0,75	$Y_2$	2,1168	1,9673	2,1260
0,75	$W_1 + W_2$	-9,5320	-6,4245	-14,9296

Enfin, comme c'était également le cas pour  $\alpha$ , le bien-être total de la fédération augmente avec  $\beta$ .

## CONCLUSION

Tout au long de ce travail, plusieurs situations ont été examinées pour avoir une meilleure compréhension des politiques environnementales sur le système fédéral canadien. Le modèle développé a permis d'évaluer l'efficacité des différents systèmes de contrôle de la pollution en présence d'un choc économique exogène et l'analyse numérique a, quant à elle, permis d'interpréter les résultats en plus d'avoir la possibilité de les comparer entre eux.

L'analyse théorique a illustré certaines différences entre l'utilisation d'un système de plafonnement et d'échange et une taxe sur le carbone. Pour commencer, il y a le fait que les émissions demeurent stables avec un instrument-quantité, peu importe la conjoncture économique. Du côté de la taxe, il y a une plus grande volatilité dans les variables du modèle. Les fluctuations économiques modifient chacune d'entre elles à l'exception, bien sûr, du niveau de taxation. Par conséquent, l'incertitude économique dans cette région est plus importante que dans la région choisissant les droits de pollution. De plus, les salaires varient dans le sens opposé au choc dans les deux régions. Par ailleurs, en incluant les hypothèses de migration et de régions asymétriques, un système centralisé avec une taxe sur le carbone comme instrument apporte de meilleurs résultats en présence d'un choc économique élevé alors que le scénario opposé, soit un système centralisé favorisant un système de plafonnement et d'échange, fait mieux dans le cas d'un choc faible. L'analyse théorique ne permettait pas de conclure sur l'équilibre de Nash.

L'évaluation du bien-être a, par la suite, permis de constater que le scénario décentralisé se situait entre les deux scénarios centralisés. Selon la réalisation du choc, la variation du bien-être est plutôt stable lorsque la fédération priorise les permis échangeables, alors que les niveaux de bien-être se retrouvent aux extrêmes lorsque la taxe est choisie.

Puis, les simulations des différents scénarios du modèle ont apporté une comparaison numérique entre ceux-ci, facilitant la compréhension des effets du choc économique sur le choix de l'instrument. Elles ont également aidé à analyser l'influence des hypothèses sur les résultats. D'ailleurs, nous avons obtenus deux résultats intéressants. Dans un premier temps, nous avons constaté un bien-être total moyen supérieur à tous les autres cas lorsqu'un système décentralisé prend place dans une économie permettant la migration et ayant des régions asymétriques. Ensuite, nous avons trouvé qu'un équilibre de Nash existe lorsque le système est décentralisé avec la région 1 favorisant un système de plafonnement et d'échange alors que la région 2, plus productive dans le secteur polluant, utilise une taxe sur le carbone. Qui plus est, cette approche a donné place à certains tests de sensibilité des paramètres afin d'observer l'impact du choix de ceux-ci.

En terminant, plusieurs avenues pourraient être envisagées afin de poursuivre ce travail de façon à le rendre plus réaliste et obtenir des résultats plus précis. D'abord, le Canada est un vaste pays possédant une grande diversité culturelle. La mobilité des travailleurs entre les régions y est vraisemblablement imparfaite. Donc, comme le font Boadway *et al.* (2013), afin de rendre le modèle encore plus réaliste, l'ajout d'un paramètre d'appartenance à sa région serait à considérer. Ensuite, comme il a été mentionné au chapitre précédent, la population cana-



dienne n'est pas répartie également entre les régions. Inclure cet aspect dans la différenciation des régions serait un scénario tout aussi intéressant. Le commerce entre les régions et un choc distinct d'une région à l'autre sont d'autres éléments qui représenteraient encore mieux le contexte dans lequel évolue le Canada. Par ailleurs, il serait bien de tester différentes formes fonctionnelles pour les fonctions de production et d'utilité que celles utilisées dans ce travail, notamment, une fonction quadratique dans le facteur travail pourrait s'avérer intéressante en plus de produire des résultats comparables à ceux obtenus par Weitzman (1974). Enfin, dans ce mémoire, la migration non-anticipée a été priorisée pour sa simplicité. Il serait intéressant d'effectuer une analyse numérique dans le but de tester la migration anticipée par les gouvernements régionaux lorsqu'ils choisissent l'instrument à utiliser pour réduire les GES.

## ANNEXE A

### PREUVES ASSOCIÉES AUX PROPOSITIONS

#### A.1 Proposition 1

Lorsque les régions sont identiques, que la migration n'est pas possible et que, si le contrôle de la pollution est décentralisé, la première région utilise un système de plafonnement et d'échange alors que la seconde priorise une taxe sur les émissions produites, nous obtenons les résultats illustrés par l'équation 3.1 (ci-dessous). Lorsque la fédération opte pour un contrôle décentralisé de la pollution, la quantité d'émissions de GES produites se retrouve dans une position intermédiaire entre les deux cas où le contrôle de la pollution est fait par des politiques centralisées.

$$2X_2(\theta^L) < X_1 + X_2(\theta^L) < X_F = 2X_1 < X_1 + X_2(\theta^H) < 2X_2(\theta^H)$$

*Démonstration.* En comparant les équations 2.23 et 2.26, on trouve que  $n_{x1}^* > n_{x2}^*$  lorsque  $\theta = \theta^L$ , ce qui implique que  $X_1 > X_2(\theta^L)$ . Des mêmes équations, il découle que  $n_{x1}^* < n_{x2}^*$  lorsque  $\theta = \theta^H$ , ce qui implique que  $X_1 < X_2(\theta^H)$ . Le résultat de la proposition suit directement.  $\square$

## A.2 Proposition 2

Lorsque les régions sont identiques et que la migration entre les régions n'est pas possible, nous remarquons qu'encore une fois, pour une fédération, régler la pollution de façon décentralisée est une situation intermédiaire à celles où elle impose un instrument unique pour la contrôler. De plus, que ce soit une décision régionale ou fédérale, utiliser la taxe comme instrument apporte une plus grande fluctuation des émissions de GES et de bien-être qu'un système de plafonnement et d'échange.

$$W_{TT}(\theta^L) < W_{PT}(\theta^L) < W_{PP}(\theta^L) < W_{PP}(\theta^H) < W_{PT}(\theta^H) < W_{TT}(\theta^H).$$

*Démonstration.* Comme l'utilité est quasi-linéaire en  $y$ , le niveau de  $x$  seul détermine le positionnement relatif du bien-être entre tous les optimaux de second rang. Le résultat découle alors directement de la proposition 1.

□

## A.3 Proposition 3

En incluant les hypothèses de migration et de régions asymétriques et en combinant le tableau 3.4 et l'équation 3.3 (ci-dessous), un système centralisé avec une taxe sur le carbone comme instrument donne un bien-être supérieur en présence d'un choc économique élevé alors que le scénario opposé, soit un système centralisé favorisant un système de plafonnement et d'échange fait mieux dans le cas d'un choc faible. Néanmoins, le système décentralisé est un juste milieu entre les deux dernières situations, quoiqu'en espérance, nous ne pouvons pas conclure sur

l'équilibre de Nash.

$$W_{TT}(\theta^L) < W_{PT}(\theta^L) < W_{TP}(\theta^L) < W_{PP}(\theta^L) <$$

$$W_{PP}(\theta^H) < W_{TP}(\theta^H) < W_{PT}(\theta^H) < W_{TT}(\theta^H).$$

*Démonstration.* Comme  $F_{nx2}(n_x, \theta) > F_{nx1}(n_x, \theta) \quad \forall \quad \theta$ ,  $W_{PT}(\theta^L) < W_{TP}(\theta^L)$  et  $W_{TP}(\theta^H) < W_{PT}(\theta^H)$ . Le reste suit de la proposition 2.  $\square$

ANNEXE B

FIGURE REPRÉSENTANT LES RÉSULTATS DU SYSTÈME DÉCENTRALISÉ EN PRÉSENCE D'UN CHOC FAIBLE

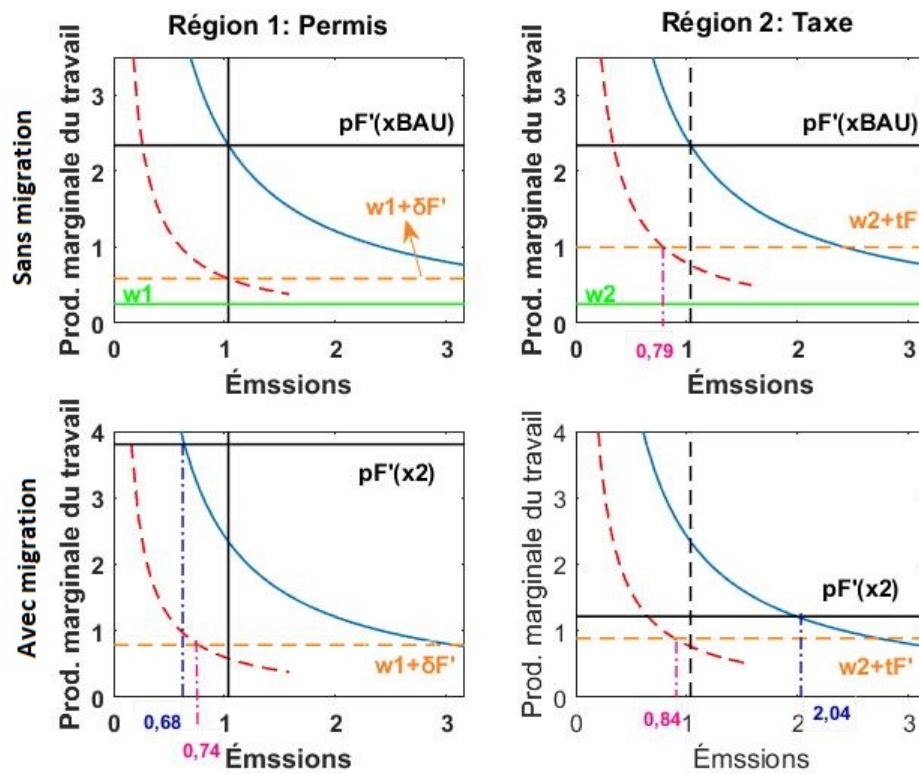


FIGURE B.1: Résultats du système décentralisé lors d'un choc faible

## BIBLIOGRAPHIE

- Aronsson, T., Jonsson, T. et Sjögren, T. (2006). Environmental policy and optimal taxation in a decentralized economic federation. *FinanzArchiv : Public Finance Analysis*, 62(3), 437–454.
- Boadway, R., Song, Z. et Tremblay, J.-F. (2013). Non-cooperative pollution control in an inter-jurisdictional setting. *Regional Science and Urban Economics*, 43(5), 783–796.
- Caplan, A. J., Cornes, R. C. et Silva, E. C. (2000). Pure public goods and income redistribution in a federation with decentralized leadership and imperfect labor mobility. *Journal of Public Economics*, 77(2), 265–284.
- Gouvernement du Canada (2017). *Émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale*. Version mise à jour le 19 juin 2017. Récupéré le 9 avril 2018. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/emissions-gaz-effet-serre-echelle-mondiale.html#fn1>.
- Hepburn, C. (2006). Regulation by prices, quantities, or both : a review of instrument choice. *Oxford review of economic policy*, 22(2), 226–247.
- Kelly, D. L. (2005). Price and quantity regulation in general equilibrium. *Journal of Economic Theory*, 125(1), 36–60.
- Kossoy, A., Peszko, G., Oppermann, K., Prytz, N., Gilbert, A., Klein, N., Lam, L. et Wong, L. (2015). *Carbon pricing watch 2015 : an advance brief from the state and trends of carbon pricing 2015 report, to be released late 2015*. World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/387741468188935412/Carbon-pricing-watch-2015-an-advance-brief-from-the-state-and-trends-of-carbon-pricing-2015-report-to-be-released-late-2015>.
- Naoto, A. et Silva, E. C. (2008). Correlated pollutants, interregional redistribution and labor attachment in a federation. *Environmental and resource economics*, 41(1), 111–131.
- Oates, W. E. (1998). Environmental policy in the european community : harmonization or national standards? *Empirica*, 25(1), 1–13.

- Pizer, W. A. (2002). Combining price and quantity controls to mitigate global climate change. *Journal of public economics*, 85(3), 409–434.
- Silva, E. C. (1997). Decentralized and efficient control of transboundary pollution in federal systems. *Journal of Environmental Economics and Management*, 32(1), 95–108.
- Silva, E. C. et Caplan, A. J. (1997). Transboundary pollution control in federal systems. *Journal of environmental economics and management*, 34(2), 173–186.
- Statistique Canada (2016). *Tableau 051-0001, Population par année, par province et territoire (proportion)*. Version mise à jour le 13 avril 2017. Récupéré le 10 mai 2017. <http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/102/cst01/demo02d-fra.htm>.
- Statistique Canada (2017). *Rapport d'inventaire national 1990-2015 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada. Inventaire canadien des gaz à effet de serre*. Version mise à jour le 13 avril 2017. Récupéré le 10 mai 2017. <https://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=Fr&n=662F9C56-1>.
- Weitzman, M. L. (1974). Prices vs. quantities. *The review of economic studies*, 41(4), 477–491.
- Western Climate Change Inc (2013). Version de 2013. Récupéré le 10 mai 2017. <http://www.westernclimateinitiative.org/history>.